

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Elektroniikkatuotanto

2012

Jyri Kallio

LED-KORTIN TUOTANTOTESTIN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka |Elektroniikkatuotanto

Opinnäytetyön valmistumisajankohta | Sivumäärä 37

Ohjaajat: ins. (YAMK) Yngvar Wikström, ins. (AMK) Miikka Puomila

Jyri Kallio

LED-KORTIN TUOTANTOTESTIN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja rakennettiin ajoneuvossa käytettävän LED-valaisimen tuotantotestauslaite elektroniikan sopimusvalmistusta tarjoavalle yritykselle.

Työn pohjaksi saatiin käyttöön yrityksen suunnittelema testauslaite, jonka ominaisuuksia kehittämällä ja parantamalla testauslaite toteutettiin.

Testauslaitteen toiminnan ohjaus on toteutettu Atmelin ATmega48Pa-mikrokontrollerin avulla. Mikrokontrollerin ohjelma on toteutettu C-kielellä. Aihion testauksen ohjaukseen käytettiin erillistä siirtorekisteripiiriä.

Testattavalle piirilevyaihiolle rakennettiin testausadapteri PVC-muovista. Adapterin eri osat jyrsittiin CNC-jyrsintä käyttäen. Tuotteiden testauspisteisiin saadaan kontakti neulapedin avulla. Neulat ovat paineilmakäyttöisiä ja niitä ohjataan manuaalisesti venttiilin avulla.

Laite mittaa tuotteen eri toimintatilojen aikana sen virrankulutuksen. Vilkun toimivuuden ja virtojen suuruuden perusteella se määrittää, onko tuote ehjä.

Kun testauslaite todettiin toimivaksi ja vaatimusten mukaiseksi, otettiin se käyttöön testauksessa.

ASIASANAT:

LED, ATmega48Pa, mikrokontrolleri, tuotantotestaus, paineilma, siirtorekisteri

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Electronics Production

2012| Total number of pages 37

Instructors: Yngvar Wikström, M.Eng., Miikka Puomila, B.Eng.

Jyri Kallio

DESIGNING AND IMPLEMENTING A PRODUCTION TEST FOR A LED CARD

In this thesis, a factory test device was made for an electronics contract manufacturing company to test the combination light of a vehicle.

The new system is based on a company designed prior test device fixture. The new test device was as an upgrade to the existing test device electronics.

Functions of the test device were controlled with Atmel's ATmega48Pa microcontroller. Microcontroller program was written in C language. An external shift register IC was used to control a full circuit board flank test.

A test adaptor was made for the circuit board flank from PVC plastic. The adaptor components were milled with a CNC milling machine. The test device uses a needle bed to get contact with the product that is tested. Needles are operated with compressed air and needles are operated manually with a hand lever valve.

The test device measures the product's current during its different operating modes. On the basis of the functioning of a blink and the value of current it determines if the product meets the demands.

When the test device was verified to function correctly and it met the demands, it was brought into use in the company's manufacture test.

KEYWORDS:

LED, ATmega48Pa, microcontroller, factory test, compressed air, shift register.

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön valmistus ja suunnittelu suoritettiin Tepcomp Oy:n tuotekehitysosastolla. Tepcomp Oy on elektroniikan sopimusvalmistukseen erikoistunut yritys, joka sijaitsee Turussa.

Haluan kiittää yrityksen tuotekehityspäällikköä Miikka Puomilaa mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö yritykselle. Haluan myös antaa suuren kiitoksen yrityksen tuotekehitysosaston työntekijöille. Osaston työntekijät Hannu Arki, Juha Koivisto sekä Jukka Lehto olivat aina valmiina apuun, kun ongelmia testauslaitteen rakentamisessa ilmaantui.

Turku 9.5.2012

Jyri Kallio

SISÄLTÖ

KÄYTETYT SYMBOLIT JA LYHENTEET	VII
1 JOHDANTO	1
2 TESTAUSLAITTEELLE ASETETUT VAATIMUKSET	2
3 TAUSTATietoA LEDEISTÄ	3
3.1 Ledien historiaa	3
3.2 Ledin rakenne ja toiminta	5
3.3 Ledin valoisuus ja valoteho	7
3.4 Ledien ikääntyminen ja hajoaminen	8
3.5 Ledien käyttökohteita	9
3.6 Ledien eri kytkentätapoja	10
4 TESTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU	11
4.1 Virranmittauksen toteutus	11
4.1.1 Pienen virranmittauksen toteutus	11
4.1.2 Ison virranmittauksen toteutus	13
4.2 Koko aihion testauksen toteutus	14
4.3 Neulapeti	16
4.4 Testausadapteri	17
4.5 Paineilmalaitteisto	18
5 OHJELMISTON SUUNNITTELU	20
5.1 Testauslaitteen ohjelmiston rakenne	20
5.2 Mikroprosessorin alustukset	21
5.3 Ohjelman käynnistyminen	21
5.4 Testaus-silmukka	22
5.5 Testaustuloksen esittäminen	23
6 PROJEKTIN LÄPIVIENTI	25
6.1 Suunnittelu	25
6.2 Prototyypin luonti	25
6.3 Koko aihion testauksen toteutus	27

6.4 Adapterin ja neulapedin valmistus	28
6.5 Testauslaitteiston kokoaminen	29
7 TOIMIVAN MALLIN KUVAUS	31
7.1 Käyttöönotto	31
7.2 Testaus	31
8 ONGELMAT JA ONNISTUMISET	33
8.1 Ongelmia	33
8.2 Onnistuneet ratkaisut	33
9 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	36

KÄYTETYT SYMBOLIT JA LYHENTEET

G	Operaatiovahvistimen vahvistuskerroin (Gain)
I	Virta
P	Teho
R	Resistanssi
U	Jännite
Φ	Valovirta
A/D	Analogia- digitaalimuunnos, analogisen signaalin muutos digitaaliseksi signaaliksi
ESD	Kipinäpurkaus (Electrostatic discharge)
I/O	Prosesorin sisääntulo/ulostulo (input/output) ominaisuus. Mikroprosessorin pinni voi olla kykeneväinen vastaanottamaan dataa sisään ja lähettämään sitä ulos.
LED	Puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa (Light -Emitting diode)
MOSFET	Kanavatransistori (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoitus on valmistaa tuotantotestauslaite Tepcomp Oy:n käyttöön. Testauslaitteen tarve ilmeni, kun yritys sai tilauksen uudesta tuotteesta. Uudelle tuotteelle ei ollut valmiina sopivaa testausjärjestelmää. Testaus haluttiin myös suorittaa paremmin ja tarkemmin kuin ennen, joten tuotteelle päätettiin rakentaa uusi testauslaite. Itse uusi tuote on ajoneuvon yhdistelmätakavalaisin. Kyseinen yhdistelmävalaisin sisältää ajoneuvon vilkun sekä jarru- että takavalon. Tuotetta voidaan käyttää sen ominaisuuksien perusteella sekä ensi- että jälkiasennusvalona ajoneuvossa. Valaisin on toteutettu led-komponentteja käyttäen. Testauslaite tarvitaan mittaamaan ledien virrankulutusta sekä vilkun toiminta, jotta tuote voidaan todeta toimivaksi ennen lähetystä asiakkaalle.

Aikaisempia opinnäytetöitä, jotka liittyvät led-valaisimiin, on tehty useita. Opinnäytetöissä on käsitelty ledien käyttöä yleisvalaistuksena ja erilaisina ohjelmoitavina valolähteinä. Opinnäytetöitä ei ole aikaisemmin tehty vastaavista tuotantotestauslaitteista.

Yrityksen käyttöön on valmistettu useita vastaavanlaisia testausjärjestelmiä tuotteille, jotka ovat ominaisuuksiltaan lähellä uutta valmistettavaa tuotetta. Testausjärjestelmät on toteutettu LabView-ohjelmalla. Rakennettavan testauslaitteen tavoitteeksi asetettiin tarkempi mittaus virroille, kuin yrityksen edellisten LabView testauslaitteistojen kanssa käytään. Testauslaitteen vaadittiin olevan niin tarkka, jotta valmistajan sallimien virtarajojen raja-alueiden ulkopuolella olevat tuotteet eivät mene asiakkaalle asti. Lisäksi testauslaitteen täytyi olla helposti liikuteltavissa tuotannossa.

Testauslaitteen valmistumiselle ei asetettu tarkempaa valmistumisajankohtaa, kuin että sen täytyy olla valmis ennen ensimmäistä varsinaista tuotantosarjaa. Testauslaitteen kustannusrajaa ei myöskään asetettu, mutta laitteessa pyrittiin käyttämään pääosin yrityksen varastosta löytyviä komponentteja ja materiaaleja. Tarpeelliset testauslaitteen komponentit ja materiaalit, joita varastossa ei ollut saatavilla, tilattiin tarpeen mukaan.

Virranmittauksen ja ohjelmiston kehittämisen aikana keskusteltiin yrityksen työntekijöiden kanssa niiden toteutuksesta. Testauslaitteiston mekaaninen suunnittelu sekä tuotteen testauksen suunnittelu on suoritettu itsenäisesti.

2 TESTAUSLAITTEELLE ASETETUT VAATIMUKSET

Työn tekeminen aloitettiin määrittämällä halutut testauslaitteen ominaisuudet ja vaatimukset. Testauslaitteen tärkein vaatimus oli riittävän tarkka mittaustarkkuus sekä mittauksen luotettavuus. Testauslaitteen haluttiin myös kykenevän testaamaan useamman tuotteen toimivuus yhden testauskerran aikana.

Suunniteltavalla testauslaitteella on pystyttävä mittaamaan luotettavasti pienimmillään 10 mA:n ja suurimmillaan 2,5 A:n virtaa. Riittäväksi mittaustarkkuudeksi testattavalle tuotteelle vaadittiin 1 mA. Tällä mittaustarkkuudella todettiin virranmittauksen olevan riittävän tarkka luotettavien testaustulosten saantiin.

Testauslaitteen tulee myös kyetä suorittamaan tuotteen testaus samalla jännitteellä, kuin sen virallinen käyttöjännite on. Testauslaitteen tulee suorittaa testaus ja virranmittaukset kahdella eri jännitteellä. Vaaditut testausjännitteet ovat valmistajan määrittämät tuotteen käyttöjännitteet 12 V ja 24 V.

Testauslaitteen haluttiin toimivan suoraan verkkovirralla, jotta välttyttäisiin ulkoisen jännitelähteen käytöltä. Testauslaitteen tuli myös olla helposti liikuteltavissa tuotannon tiloissa, jotta testaus voidaan suorittaa minkä tahansa työpisteen luona.

Tuotteiden testaus haluttiin suorittaa niin nopeasti kuin se on mahdollista ilman, että mittaussnopeus vaikuttaa mittaustuloksen tarkkuuteen. Tarkoituksena oli pitää tuotteen läpimenoaika testauksen osalta mahdollisimman pienenä.

Laitteen tuli myös esittää mittaustulokset riittävän selkeästi, ettei testauslaitteen käyttäjälle ole mahdollista tulkita viallista tuotetta toimivaksi. Näin pystytään välttämään viallisten tuotteiden pääsy asiakkaalle asti.

Tarvittavien komponenttien valinnassa haluttiin käyttää ensisijaisesti yrityksen varastossa olevia komponentteja ja osia. Valitsemalla komponentteja yrityksen omasta varastosta saadaan testauslaitteen rikkoutuessa ehjä komponentti vaihdettua rikkoutuneen tilalle nopeammin, kun sitä ei jouduta erikseen tilaamaan komponenttitoimittajalta.

3 TAUSTATIETOA LEDEISTÄ

Ledit ovat alkaneet kilpailla markkinoilla perinteisten valonlähteiden kanssa, kuten hehkulamput ja loisteputkivalaisimet. Erityisesti ledien suosio on noussut yleisvalaistuksessa.

Suurin etu ledien käytössä tavallisten valonlähteiden tilalla on niiden huomattavasti pienempi virrankulutus. Lisäksi samalla virrankulutuksella led tuottaa paljon enemmän valoa kuin esimerkiksi hehkulamppu. Ledien elinikä on myös moninkertainen verrattuna yleisesti käytettyyn hehkulamppuun. Ledien mekaaninen kestävyys on myös paljon parempi kuin hehkulamppujen. Led ei sisällä rikkoontuvaa hehkulankaa tai lasikupua. Tästä syystä ne ovat paremmin suojattuja ulkopuolisilta iskuilta ja tärinältä. Ledit myös syttyvät ja sammuvat erittäin nopeasti, jonka ansiosta niitä voidaan käyttää esimerkiksi tiedonsiirrossa kuitua pitkin.

3.1 Ledien historiaa

Ensimmäisen havainnon puolijohdemateriaalin kyvystä tuottaa näkyvää valoa teki englantilainen Henry Joseph Round vuonna 1907. Round havaitsi piikarbidikiteen säteilevän näkyvää valoa, kun siihen johdettiin sähköä kehitettäessä laivojen radiolaitteistoa. Samalla tämä oli ensimmäinen havainto elektroluminenssista. Samanlaisen havainnon teki myös 1920-luvun puolivälissä venäläinen Oleg Vladimirovich Losev. Hän havaitsi valon säteilyä sinkkioksidista ja piikarbidista valmistetuissa diodeissa virran kulkiessa niiden läpi. [1]–[3]

Varsinainen LED tutkimus aloitettiin 1950-luvun alussa. Silloin keksittiin uusia keinoitekoisesti seostettuja III–V-tyypin puolijohteita, kuten galliumarsenidi (GaAs), aikaisemmin tunnettujen luonnossa esiintyvien puolijohteiden rinnalle. III–V-tyypin puolijohteet osoittautuivat erittäin aktiivisiksi optisilta ominaisuuksiltaan. Tämä johtikin pian ensimmäisen varsinaisen ledin syntymiseen. Ensimmäiset infrapunavaloa lähettävät ledit, jotka oli valmistettu galliumarsenidista (GaAs) kehitettiin vuonna 1962. Infrapunaledi onnistuttiin kehittämään samanaikaisesti usean eri ryhmän toimesta eri laboratoriossa. [2], [5]

Ensimmäisen varsinaisen näkyvän ledin onnistui kehittämään myös vuonna 1962 General Electricillä työskennellyt Nick Holonyak. Hänen kehittämänsä led oli valmistettu gal-

liumarsenifosfidista (GaAsP) ja se tuotti punaista valoa jopa huoneenlämmössä. Holonyak oli kehitellyt diodiaan jo vuodesta 1960 alkaen. 1970-luvulla ledejä käytettiin pääosin lasikimissa, digitaalisissa kelloissa sekä testauslaitteistoissa indikaattoreina. [2], [5], [6]

Ensimmäinen kaupalliseen myyntiin tullut led oli General Electricin tarjoama tuote, jonka hinta oli 260 \$ kappaleelta. Vuonna 1968 Monsanto Corporation perusti ensimmäisen ledien massatuotantoon tarkoitetun tehtaan. Tehdas valmisti GaAsP-ledejä ja myi niitä asiakkaille. Ledien myynti kääntyi jyrkkään nousuun, ja vuosien 1968–1970 välillä ledien myynti kaksinkertaistui muutaman kuukauden välein. [5]

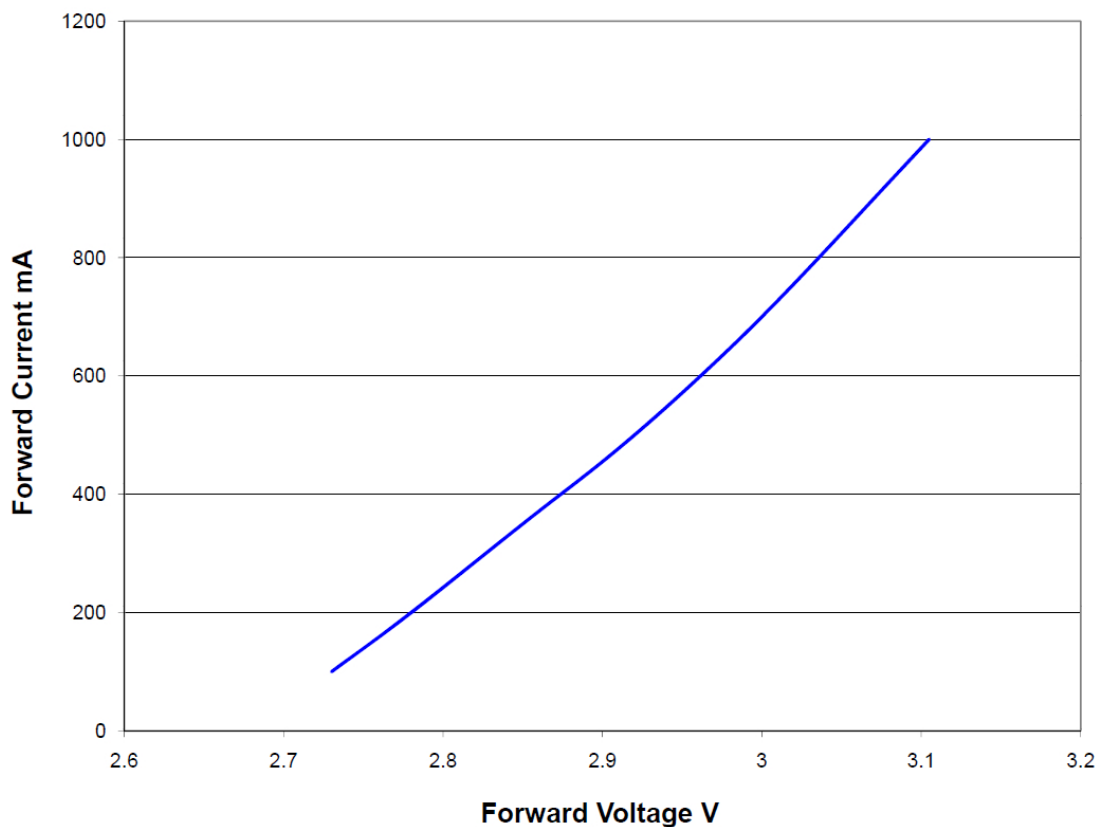
Seuraavien vuosikymmenten aikana onnistuttiin kehittämään lisää uusia puolijohhteita, joiden avulla saatiin valmistettua aikaisempaa kirkkaampia ja entisestään tehokkaampia ledejä. Holonyakin oppilaana aikaisemmin ollut George Craford, joka oli Monsanto Corporationin palveluksessa, kehitti ensimmäisen keltaisen ledin vuonna 1972. Hänen johtamansa ryhmä onnistui myös kehittämään ensimmäiset oranssia ja vihreää valoa lähettävät ledit. Yksi ongelma kuitenkin oli vielä jäljellä, kukaan ei ollut onnistunut kehittämään vielä tehokasta sinistä lediä. [5]

Sinistä valoa tuottava led oli kehitetty jo 1960-luvun lopulla, jolloin sen puolijohdemateriaalina käytettiin piikarbidia. Parhaimman piikarbidista valmistetun sinisen ledin hyötysuhde oli kuitenkin vain maksimissaan 0,03 %. Piikarbidista valmistettuja sinisiä ledejä myytiin kuitenkin 1990-luvun alkupuolelle saakka, eivätkä ne pystyneet missään vaiheessa kilpailemaan III–V-tyyppin puolijohhteista valmistettujen ledien kanssa. Piikarbidi oli siis pakko hylätä sinisen ledin puolijohdemateriaalina. Sinistä lediä oli yritetty tosissaan kehittää jo 1970-luvun vaihteesta alkaen galliumnitridiä (GaN) käyttäen. Kehitystyössä ei kuitenkaan onnistuttu, ja tästä syystä 1990-luvun vaihteessa alettiin sinisen ledin kehittämiseen panostaa tosissaan. Tutkimus sinisen ledin aikaansaamiseksi keskitettiin kahden III–V-tyyppin puolijohteen, galliumnitridin ja sinkkiselenidin (ZnSe) ympärille. Näistä galliumnitridi oli jo aikaisemmin tuttu yrityksistä kehittää sininen led. Pääosin tutkimus keskittyi kuitenkin sinkkiselenidin ympärille. Nichia Corporationilla työskennellyt japanilainen Shuji Nakamura päätti kuitenkin vielä kerran antaa mahdollisuuden galliumnitridille, jota tutkittiin enää vain muutamissa yliopistoissa. Vuosien työ palkittiin vuonna 1993, kun ensimmäinen tehokas sininen led julkaistiin. Ledin puolijohdemateriaalina käytettiin indiumgallidinitridiä (InGaN). Sama puolijohdemateriaali soveltuu myös käytettäväksi valkoisista valoa tuottavissa ledeissä. [5], [6]

3.2 Ledin rakenne ja toiminta

Led on puolijohdekomponentti, kuten diodi, mutta lisäksi se säteilee valovirtaa Φ . Ledin kynnysjännite on myös suurempi kuin tavallisella silikonista valmistetulla diodilla. Esimerkiksi 1N4148 diodin kynnysjännite on noin 700 mV, kun taas ledin kynnysjännite voi olla jopa 3,6 V. Tämä johtuu komponenttien eri valmistusmateriaalista: silikonin sijaan led on valmistettu muista puolijohtavista materiaaleista. Ledien sähköiset ominaisuudet ovat kuitenkin varsin samanlaiset kuin normaaleissa diodeissa. [1]

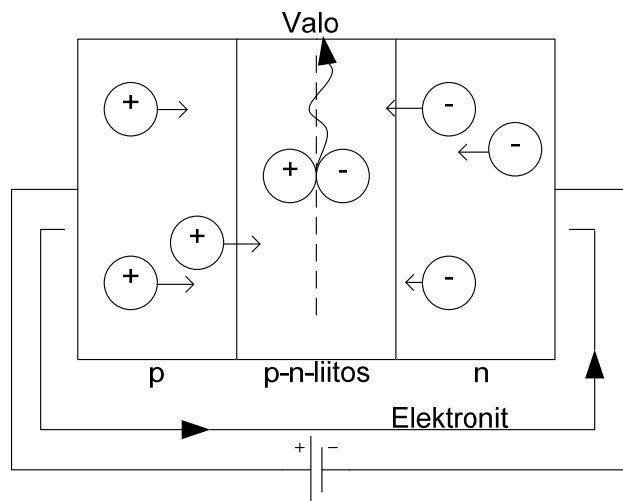
Ledin virta määräytyy ledin kynnysjännitteen mukaan. Kuvasta 1 voidaan havaita, kuinka pieni muutos ledin kynnysjännitteessä aiheuttaa suuren muutoksen sen läpi kulkevassa virrassa. Tästä syystä ledin virtaa täytyykin rajoittaa jollain tavalla. Virran rajoittamisesta on kerrottu tarkemmin luvussa 3.6.



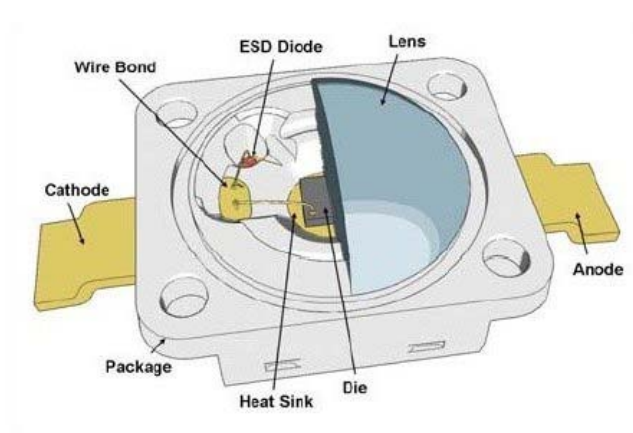
Kuva 1. LUXEON® Rebel ES -ledin läpi kulkeva virta sen kynnysjännitteen funktiona [10]

Led on valmistettu yhdistämällä kahta toisistaan hieman poikkeavaa puolijohdetta toisiinsa, joista toinen on *p*-tyypin (positive) positiivisesti varautunut ja toinen *n*-tyypin (negati-

ve) negatiivisesti varautunut puolijohde. Kohta, jossa puolijohde on liitetty toisiinsa, kutsutaan p - n -liitokseksi. Valo ledissä syntyy juuri p - n -liitoksen kohdalla. Kun ledin kynnysjännite ylitetään, alkavat p -tyypin puolijohdeessa olevat positiiviset varaukset, joita kutsutaan aukoiksi, liikkua kohti n -tyypin puolijohdetta. Vastaavasti n -tyypin puolijohde negatiivisesti varautuneet elektronit liikkuvat kohti p -tyypin puolijohdetta. Kun positiivisesti ja negatiivisesti varautuneet varaukset kohtaavat lähellä p - n -liitosta, vapautuu liitoksen kohdalla energiaa valoksi. Liitosjalka, joka on kytketty p -tyypin puolijohdeeseen, kutsutaan anodiksi ja n -tyypin puolijohdeeseen kytkettyä jalkaa katodiksi. Pintaliitosdiodin leikkauksesta kuvassa 3 selviää tarkemmin erään pintaliitosdiodin rakenne ESD-suojauksineen ja bondauslankoineen. Yksinkertaisimmillaan led koostuu kotelosta, puolijohdeosasta ja kytkentäjaloista. [9]



Kuva 2. Ledin p - n -liitos sekä varauksien liikkeen suunta



Kuva 3. Pintaliitosdiodin rakenne [1]

Ledeillä pystytään tuottamaan eriväristä valoa yhdistämällä eri materiaaleista seostettuja *p*- ja *n*-tyypin puolijohteita toisiinsa. Valon väri määräytyy käytetyn puolijohdemateriaalin perusteella. Puolijohdemateriaalin tyyppi ja sen ominaisuudet määräävät ulospäin näkyvän valon värin sekä ledin kynnysjännitteen. Samasta puolijohdemateriaalista saadaan valmistettua erivärisiä ledejä kynnysjännitettä muuttamalla. Kynnysjännitteen kasvaessa ledin tuottaman valon aallonpituus lyhenee ja samalla sen ulospäin säteilevän valon väri muuttuu. Taulukossa 1 on esitetty yleisimmät ledien värit ja niissä käytettävät puolijohdet.

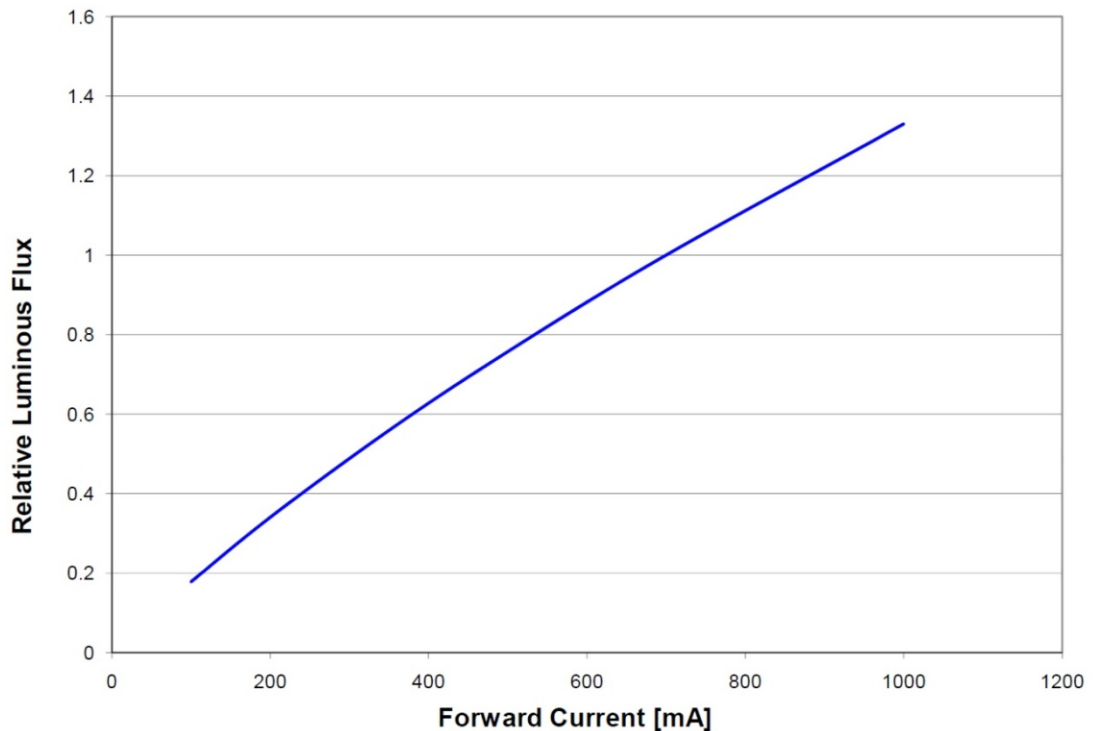
Taulukko 1. Yleisimmät ledien värit ja niissä käytettävät puolijohdemateriaalit [11]

	Väri	aallonpituus (nm)	Kynnysjännite (V)	puolijohde
	infrapuna	>760	< 1,8	GaAs AlGaAs
	punainen	610–760	1,7-2,2	AlGaAs
				GaAsP
				AlGaInP
				GaAs
				GaP
	oranssi	590–620	2-2,2	GaAsP
				AlGaInP
				GaP
	keltainen	570–595	2,1-2,4	GaAsP
				AlGaInP
				GaP
	vihreä	500–570	2-3,5	GaP
				AlGaInP
	sininen	430–505	2,5-3,7	GaN
				SiC
	violetti	400–450	2,8-4	InGaN
	purppura	useita	2,5-3,7	Useita vaihtoehtoja
	valkoinen	laaja spektri	3,6	SiC
				GaN

3.3 Ledin valoisuus ja valoteho

Led säteilee valovirtaa sen läpi kulkevan virran funktiona (kuva 4). Mitä suurempi virta ledin läpi johdetaan, sen enemmän näkyvää valoa syntyy ledin *p-n*-liitoksesta. Myös ledin lämpötila vaikuttaa valon määrään. Ledin läpi kulkeva virta kuumentaa ledin sisällä olevaa puolijohdettä, jonka seurauksena ledin tuottama valon määrä pienenee, kun puolijohteen

lämpötila nousee. Tämä täytyy ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jotta ledille pystytään luomaan riittävän tehokas jäähdytys.



Kuva 4. LUXEON® Rebel ES -ledin suhteellinen valovirta sen läpi kulkevan virran funktiona[10]

Valotehokkuus on suure, joka ilmaisee valolähteen tuottaman valovirran suhteessa valolähteen ottamaan tehoon. Valotehoisuus ilmoitetaan lumenia wattia kohden (lm/W) arvolla. Valotehoisuus voidaan ilmoittaa koko valaisimelle tai vaihtoehtoisesti vain yhdelle valonlähteenä toimivalle ledille. Mitä suurempi valotehokkuuden arvo on, sitä energiatehokkaampi led on. Toukokuussa 2011 led-valmistaja Cree mittasi laboratoriossa valkoisen ledinsä tuottamaksi valotehokkuudeksi 350 mA:n virralla 231 lm/W. [12]

3.4 Ledien ikääntyminen ja hajoaminen

Nykyisten ledien käyttöiän luvataan olevan huomattavasti korkeampi kuin muiden käytössä olevien valolähteiden. Hehkulamputteille luvataan valmistajien toimesta 1000 h:n kesto-aikaa kun taas ledeille valmistajat lupaavat jopa 75 000 h:n kesto-aikoja. Led ei kuitenkaan hajoa samalla tavalla kuin hehkulamppu, vaan ledin tuottama valon määrä vähenee ajan kuluessa. Lediä pidetään yleisesti ehjänä niin kauan kuin ledin valoteho on vähintään

70 % sen alkuperäisestä valotehosta. Jos ledejä on kytketty useampi samaan kytkentään, pidetään rajana sitä, kun puolet ledeistä tuottavat valoa alle 70 % alkuperäisestään tai kaikkien ledien yhteinen valoteho putoaa alle 70 %:n. Vertailuna hehkulamppu saavuttaa 70 % alkuperäisestä valotehostaan suurin piirtein samaan aikaan kun lamppu palaa loppuun ja sen hehkulanka katkeaa. Ongelmana ledien eliniän määrittämisessä on kuitenkin niiden pitkäikäisyys. Jos valmistaja lupaa tuotteelleen 50 000 h:n kestoajan, täytyy ledin olla yhtäjaksoisesti päällä yli viisi vuotta. Tänä aikana tekniikka on kuitenkin kehittynyt ja uusia ledimalleja on tullut markkinoille niin paljon, että testattava led on poistunut jo vuosia sitten tuotannosta. Lisäksi ainoa keino selvittää, antavatko ledit vielä yli 70 % niiden alkuperäisestä lumenarvostaan, on mitata ne yksitellen. Tällä hetkellä ledien eliniän määrittämiseen käytetään Illuminating Engineering Societyn (IES) kehittämää LM-80 testiä, joka on kiihdytetty elinikätesti ledeille.[4]

Ledin valomäärän väheneminen johtuu useista eri tekijöistä. Yksi syy on itse ledin kotelossa. Ledin ollessa 85 °C:n lämpötilassa alkaa ledin valkoinen kotelo muuttua ajan kuluessa keltaiseksi, jolloin se absorboi enemmän valoa kuin kotelon ollessa alkuperäisessä kunnossa. Kotelon absorboidessa enemmän ja enemmän valoa ajan myötä, vähenee ledistä ulos säteilevän valon määrä samassa suhteessa. Tästä syystä joissain sovelluksissa ledit saavuttavat 70 % valotehon noin 50 000 h:n käytön jälkeen, jolloin niitä pidetään rikkoutuneina. [4]

3.5 Ledien käyttökohteita

Ledien kehityksestä johtuen ledejä on alettu käyttää nykyään korvaamaan perinteisimpiä valonlähteitä lähes kaikissa mahdollisissa sovelluksissa. Ledejä käytetään nykyisin yleisesti yleisvalaistuksessa korvaamaan hehku- ja loisteputkivalaisimia.

Ajoneuvoteollisuudessa ledejä käytetään paljon ajoneuvojen erilaisissa huomiovalaisimissa kuten rekkojen ja muiden pitkien ajoneuvojen sivuvalaisimina ja vilkku- jarru sekä takavaloina. Uusimpana käyttökohteena ledit ovat yleistyneet ajoneuvojen päivävaloissa, kun päiväajovalot ovat alkaneet yleistyä osana ajoneuvojen yleisvalaistusta. Liikennevaloissa käytetään nykyisin myös varsin usein led-valoja.

Elektroniikassa ledejä käytetään esimerkiksi tuottamaan taustavalo nykyisten litteiden televisioiden kuvapaneeleille. Myös kaukosäätimen ja laitteen välinen tiedonsiirto hoide-

taan käyttämällä lediä. Ledejä käytetään myös paljon eri elektroniikan sovelluksissa indikaattoreina.

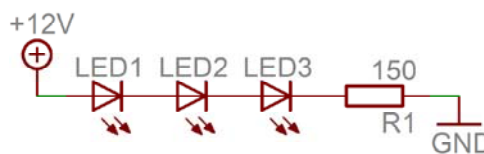
3.6 Ledien eri kytkentätapoja

Yleisin tapa kytkeä ledejä yhteen on niiden kytkeminen sarjaan (kuva 5). Ledien läpi kulkevaa virtaa täytyy rajoittaa kuitenkin käyttämällä vastusta. Valitaan käyttöjännitteen suuruudeksi 12 V ja kytketään sarjaan kolme lediä ja oletetaan yksittäisen ledin kynnyksjännitteen olevan 3,0 V. Ledien läpi virtaavaksi virraksi halutaan 20 mA. Mitoitus aloitetaan laskemalla vastukselle jäävä jännite kaavaa (1) käyttäen. Kytkennän syöttöjännitteestä vähennetään kaikkien ledien yhteenlasketut kynnyksjännitteet, jolloin vastukselle jääväksi jännitteeksi saadaan 3 V. Vastus mitoitetaan kaavaa (2) käyttäen, jolloin sopivaksi vastuksen arvoksi saadaan 150 Ω . Vastukselle häviävä teho saadaan laskettua kaavasta (3). Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan vastuksen tehohäviöksi 60 mW. Kytkennän kokonaisteho saadaan laskettua kaavalla $P = U \cdot I$, jolloin kytkennän kokonaistehoksi tulee $P = 0,36$ W. Tällöin ledien kuluttamaksi tehoksi kytkennässä tulee 83 % ja vastuksen 17 %.

$$U_R = U_{supply} - n \cdot U_{Led} \quad (1)$$

$$\frac{U_R}{I} = R_{R1} \quad (2)$$

$$P_{R1} = \frac{U_{R1}^2}{R} \quad (3)$$



Kuva 5. Ledien sarjankytkentä vastuksen kanssa

Toinen tapa ledien virran rajoittamiseen on käyttää vakiovirtalähdettä. Vakiovirtalähdettä käytettäessä tehoa ei hukata lämmöksi vastuksen kautta. Parhaimpien vakiovirtalähteiden hyötysuhteet ovat nykyään n. 85 % luokkaa. Kytkennän kokonaistehohäviön mahdollisimman pieneksi saamiseksi, vakiovirtalähde täytyy kytkeä hakkuriteholähteeseen. [7]

4 TESTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU

Testauslaitteiston pohjana toimii valmis testausjärjestelmä, joka koostuu hakkuriteholähteestä sekä prosessorikortista. Valmis testausjärjestelmä kykenee tuottamaan testauksen vaatimat jännitteet sekä mittaamaan virran 0,7–2,5 A alueella riittävän tarkasti. Testausjärjestelmän toiminnan ohjaus on toteutettu Atmelin ATmega48Pa-mikroprosessorilla.

4.1 Virranmittauksen toteutus

Virranmittauksen suunnittelu aloitettiin määrittämällä testattavan tuotteen vaatimat mitta-alueet. Tuotteen ominaisuuksista johtuen jouduttiin testauslaitteelle määrittämään kaksi erillistä virranmittausaluetta. Pienen virran mitta-alueeksi valittiin 10–300 mA ja suuren virran mitta-alueeksi 0,7–2,5 A. Mittaustarkkuuden haluttiin olevan 1 mA molemmilla mitta-alueilla.

4.1.1 Pienen virranmittauksen toteutus

Pienen virran mittauksen suunnittelu aloitettiin kartoittamalla eri vaihtoehtoja, joilla virranmittauksen pystyy toteuttamaan. Vaihtoehtoina olivat erillisen virranmittauspiirin käyttö tai yksinkertaisempi tapa toteuttaa se mittavastuksen avulla. Pienen virran mittaus päätettiin toteuttaa lopulta mittavastuksen avulla, jonka todettiin olevan yksinkertaisempaa sekä varmempi ja yksinkertaisempi toiminnaltaan. Mittavastuksen jännitettä vahvistetaan operaatiovahvistimen avulla mikroprosessorin AD-muuntimelle.

Operaatiovahvistinta käytettiin ei-kääntävällä vahvistinkytkenällä. Kytkenään sopivaksi vahvistuskertoimeksi G , havaittiin kaavaa (4) soveltaen 11. Vahvistus saadaan aikaiseksi käyttämällä vastuksia arvoiltaan 10 k Ω ja 1 k Ω . Vastusten kytkentä selviää kuvasta 6. Operaatiovahvistinta valittaessa tärkeimpänä kriteerinä pidettiin riittävän pientä vahvistimen asettumisaikaa. Tämän vaatimuksen perusteella operaatiovahvistimeksi valittiin varastosta Analog Devicesin OP290G. Operaatiovahvistimen käyttöjännite saadaan 5 V:n regulaattorilta, jonka reguloimaa jännitettä suodatetaan kahden kondensaattorin avulla. Suoda-

tuksen avulla saadaan poistettua suurimmat jännitepiikit käyttöjännitteestä, jotta piiri ei vahingoittuisi ylijännitteen seurauksena, ja sen toiminta olisi muutenkin vakaa.

Koska mikroprosessorin referenssijännitteenä käytetään 3,3 V otettiin tämä huomioon myös mittavastuksen mitoittamisessa. Suurin sallittu jännite operaatiovahvistimelle saadaan laskettua kaavasta (4). U_{ref} jännite on sama kuin mikroprosessorin referenssijännite eli 3,3 V ja vahvistus G arvo 11. Vastaukseksi saadaan maksimi U_{in} jännitteeksi operaatiovahvistimen sisääntulolle 0,3 V.

$$\frac{U_{ref}}{G} = U_{in} \quad (4)$$

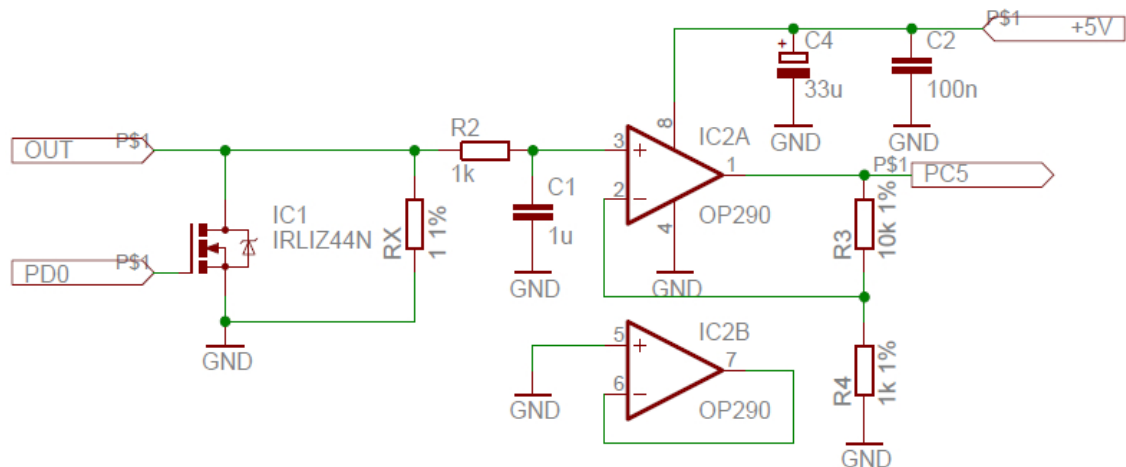
Mittavastus mitoitettiin tämän jälkeen kaavaa (5) käyttäen. U_{in} arvoksi asetettiin edellisestä kaavasta tulokseksi saatu 0,3 V ja I_{max} arvoksi aikaisemmin määritelty mitta-alueen ylärajan virta 300 mA. Kaavaa käyttäen tulokseksi saatiin mittavastus R_x :lle arvoksi 1 Ω . Mittauksen haluttiin myös olevan riittävän tarkka, joten vastukseksi valittiin metallikalvovastus jonka toleranssi on 1 %.

$$R_x = \frac{U_{in}}{I_{max}} \quad (5)$$

Testattavan laitteen suurempi virta kuitenkin ylittää reilusti pienemmän mitta-alueen ylärajan, jonka seurauksena mittavastuksen jännite nousee liian suureksi. Operaatiovahvistin vahvistaa jännitteen yli ohjelmiston määrittelemän oikosulkuvirran, jonka seurauksena ohjelmisto tulkitsee testattavan tuotteen olevan oikosulussa. Ongelman välttämiseksi mittavastuksen rinnalle kytkettiin MOSFET-kytkin, jonka kautta suurempi virta ohjataan sen ollessa käytössä. Kytkinfetin valinnassa tärkeimpänä ominaisuuksina pidettiin mahdollisimman pientä FETin sisäistä $R_{ds(on)}$ resistanssia sen ollessa johtavassa tilassa, jotta FETin jännitehäviöt jäisivät mahdollisimman pieniksi. Toinen vaadittu ominaisuus oli FETin ohjaus suoraan mikroprosessorin I/O-portin yksittäiseltä pinniltä saatavalla 5 V:n jännitteellä, joten FETin $V_{gs(th)}$ kynnysjännitteen täytyi olla riittävän pieni. Useiden vaihtoehtojen jälkeen parhaaksi komponentiksi valittiin International Rectifierin n-kanavainen IRLIZ44N FET. Valitun FETin $V_{gs(th)} > 2,0$ V, FETin $R_{ds(on)}$ resistanssi on 0,25 m Ω . Mittavastus kytkettiin FETin lähteen ja nielun välille.

Kytkenän toiminta perustuu mittavastuksen yli olevaan jännitteeseen, jonka operaatiovahvistin vahvistaa mikroprosessorin AD-muuntimelle. Ison virran mittauksen aikana kytkennässä oleva FET on johtavassa tilassa, jolloin virta johdetaan FETin läpi. Ison virranmittauksen hoitaa tällöin ison virran mittaukseen suunniteltu kytkentä. Pieniä virtoja

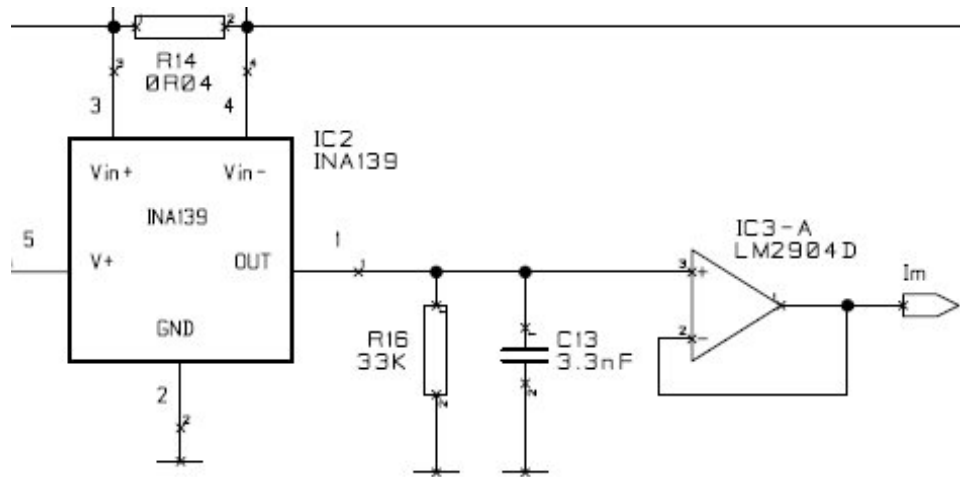
mitattaessa FET on suljetussa tilassa, jolloin virta kulkee mittavastuksen kautta. Virran kulkiessa mittavastuksen kautta käytetään operaatiovahvistinkytkeä virranmittaukseen. Esimerkiksi 100 mA:n virta aiheuttaa vastuksen R_x yli 0,1 V jännitteen, jonka operaatiovahvistin vahvistaa 1,1 V:n suuruiseksi mikroprosessorin AD-muuntimelle. Käytettävä OP290G-operaatiovahvistin sisältää kaksi vahvistinta, joten käyttämätön operaatiovahvistin kytkettiin jänniteseuraajaksi maatasolle, jotta vahvistin ei lähtisi värähtelemään. Valmis kytkentä on esitetty kuvassa 6. [14], [15]



Kuva 6. Pienen virranmittauksen kytkentäkaavio

4.1.2 Ison virranmittauksen toteutus

Ison virran mitta-alueen mittauskytkeä on toteutettu käyttäen Texas Instrumentsin INA 139 -virranmittauspiiriä. Piiri muuntaa mittavastuksen yli olevan jännitteen virraksi, joka vahvistetaan vastuksella halutun suuruiseksi jännitteeksi. Vastuksella vahvistettu jännite ohjataan jännitteenseurajaksi kytkettyyn operaatiovahvistimeen. Operaatiovahvistimen ulostulo on kytketty mikroprosessorin AD-muuntimen sisääntuloon. Alkuperäisen testausjärjestelmän virranmittaukseen ei ollut tarve tehdä muutoksia, koska se toimii jo valmiiksi halutulla mitta-alueella. Alkuperäisen testausjärjestelmän kytkentäkaavio vaadittavien komponenttien kanssa esitetään kuvassa 7. Ison virran mittausta käytetään testauslaitteessa ainoastaan testattavan tuotteen vilkun toiminnan tarkastukseen.



Kuva 7. Ison virran mittaukseen käytettävä INA 139 -kytkentä

4.2 Koko aihion testauksen toteutus

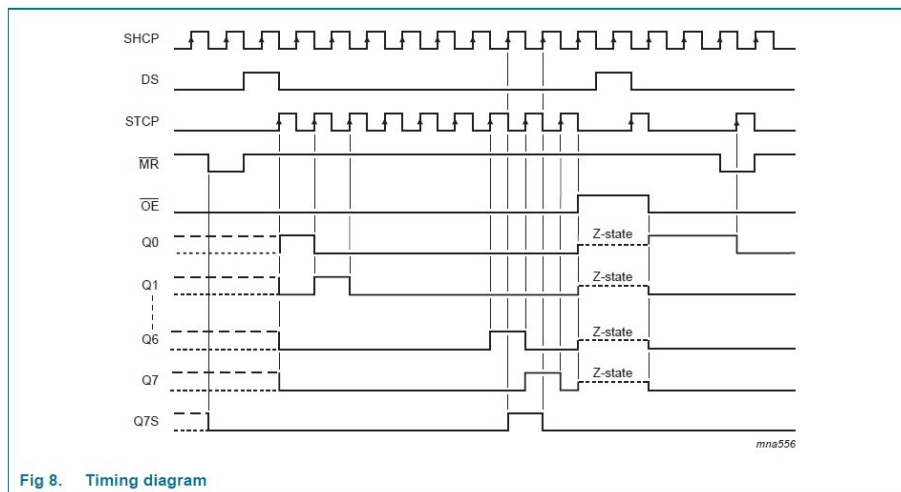
Testauslaitteen vaadittiin kykenevän testaamaan koko piirilevyaihio kerrallaan. Valmis piirilevyaihio sisältää yhteensä kuusi valmiiksi ladottua tuotetta. Kaikkia aihiossa olevia tuotteita ei ole kuitenkaan mahdollista testata samaan aikaan johtuen testattavan tuotteen ominaisuuksista. Tästä syystä aihiossa olevat tuotteet täytyy testata yksi kerrallaan. Ratkaisuksi kehitettiin kytkentä, jolla testattavan tuotteen maataso saadaan kytkettyä irti testauslaitteiston maatasosta. Jokaisen aihiossa olevan tuotteen maa erotettiin testauslaitteiston maatasosta kytkinfettejä käyttäen, jolloin FETin ollessa suljetussa tilassa ei suljetua virtapiiriä pääse muodostumaan tuotteen ja testauslaitteiston välille. FETin ollessa johtavassa tilassa muodostuu suljettu virtapiiri tuotteen ja testauslaitteiston välille, jolloin testattavan tuotteen ledit loistavat.

Aihion testaamiseen tarvitaan kuusi FETia, yksi jokaiselle aihiossa olevalle tuotteelle. FETien avautumista ja sulkeutumista haluttiin ohjata suoraan mikroprosessorin I/O-porttien pinnien avulla. Mikroprosessorin I/O-pinnejä tarvittaisiin tähän tarkoitukseen kuitenkin kuusi kappaletta ja ongelmaksi muodostui prosessorin I/O-pinnien riittämätön määrä. Ratkaisuksi ongelmaan päätettiin FETien ohjaukseen käyttää 8-bittistä siirtorekisteripiiriä. Siirtorekisteripiirin ohjaus vaatii vain neljän I/O-pinnin käyttöä mikroprosessorilta.

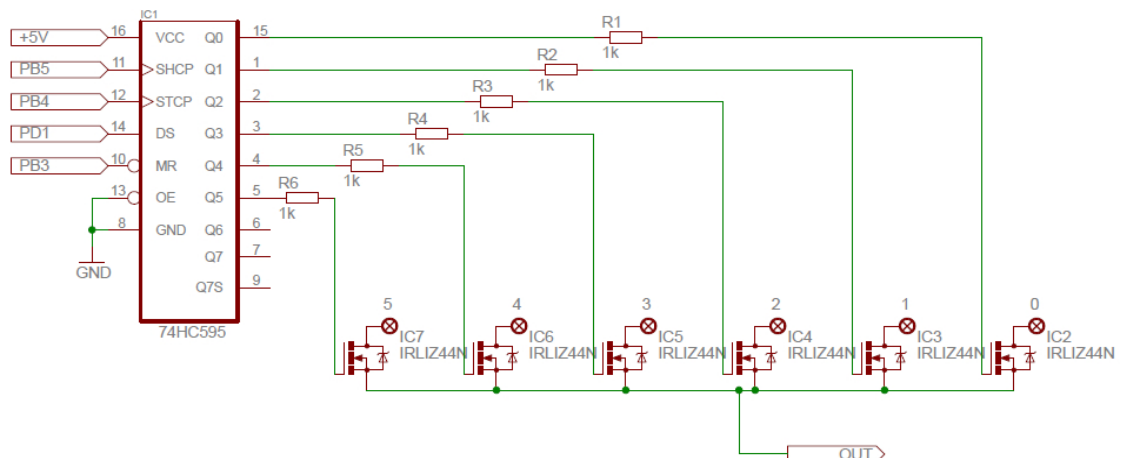
Siirtorekisteripiiriksi valittiin NXP Semiconductorsin 74HC595. Siirtorekisteripiiriin syötetään dataa sarjamuodossa, ja sarjamuotoinen data saadaan rinnakkaismuodossa ulos siirtorekisterin ulostuloporteista. Data tallennetaan ensimmäiseksi piirin sisäiselle siirto-

rekisterille bitti kerrallaan sarjamuodossa piirin DS-liitännän kautta ja siirretään rekisteriin SHCP-kellopulssin avulla. Tallennettu sarjamuotoinen data siirretään siirtorekisteristä piirin muistirekisteriin ja samalla piirin ulostuloportteihin omalla STCP-kellopulssillaan. Siirtorekisteripiirin ajoituskaavio on asian selkeyttämiseksi esitetty kuvassa 8.

Siirtorekisteripiirin rinnakkaisulostuloportit 0–5 kytkettiin FET-kytkimien hiloille ohjaamaan FETien avautumista ja sulkeutumista. Ulostuloportin ja hilan väliin lisättiin 1 kΩ:n vastus hidastamaan FETin avautumista ja suojaamaan itse FETiä. FETeiksi valittiin sama komponentti kuin pienen virran mittauksessa eli IRLIZ44N. Valintaperusteina olivat samat ominaisuudet, pieni $R_{ds(on)}$ resistanssi sekä matala $V_{gs(th)}$ kynnysjännite, jotta FETejä voidaan ohjata 5 V:n jännitteellä. Lopullinen kytkentä on esitetty kuvassa 9. [15]



Kuva 8. 74HC595-siirtorekisterinpiirin ajoituskaavio [15]



Kuva 9. Koko aihion testauksen FET-kytkimien ohjauskytkentä

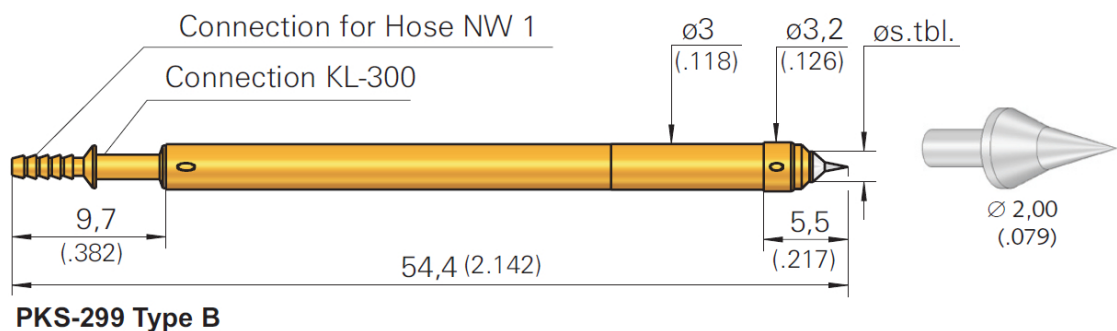
4.3 Neulapeti

Testattavan tuotteen rakenteesta johtuen parhaimmaksi tavaksi saada riittävän hyvä kontakti tuotteen testauskohtiin valittiin toteutustavaksi neulapeti. Neulapeti on yksinkertainen ja varsin yleinen tapa päästä käsiksi hankalassa paikassa sijaitseviin testauspisteisiin.

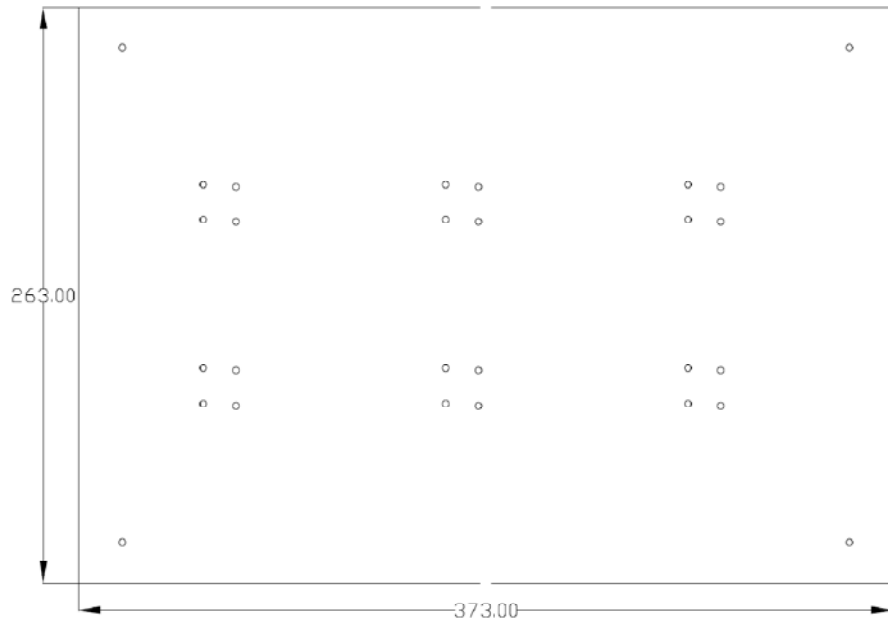
Testattavan tuotteen kahdesta suuresta kondensaattorista johtuen jouduttiin testausneulojen valinnassa huomioimaan niiden riittävän pitkä liikematka, jotta neulojen kärki ylettyy piirilevyn testauspisteisiin. Lisäksi neulojen täytyi soveltua käytettäväksi paineilman kanssa. Riittäväksi liikematkaksi mitattiin 12–15 mm piirilevyn alapuolen pinnasta, kun kondensaattorien korkeus otettiin huomioon. Neulojen täytyy myös kyetä mittaamaan vähintään 2,5 A suuruisia virtoja. Neulojen rikkoutuessa niiden täytyy myös olla helposti vaihdettavissa. Neulan kärjen halkaisijan täytyy olla vähintään 1,8 mm, jotta neulojen kärki ei läpäise testauspisteen keskellä olevaa läpivientireikää. Tarkoitukseen parhaiten sopivaksi neulaksi valittiin INGUN Prüfmittelbau GmbH valmistama PKS-299. Neulan rakenne sekä valittu kärkityyppi on esitetty kuvassa 10.

Neulan suositeltu iskupituus on 12 mm ja maksimi-iskupituus 20 mm. Neula pystytään käyttämään maksimissaan 3 A:n virtojen kanssa. Suurin ilmanpaine, jolla neulaa voidaan käyttää, on valmistajan mukaan 6 bar.

Neulojen kohdistus testattavan tuotteen testauspisteisiin on oltava erittäin tarkka, jotta neulat osuisivat jokaiseen haluttuun testauspisteeseen jokaisella testauskerralla. Neulojen paikat sekä koko neulapeti suunniteltiin AutoCad 2012 -ohjelmalla. Apuna neulojen oikeaan paikkaan kohdistamisessa käytettiin piirilevyaihion Gerber-tiedostoa, joka sisältää piirilevyn eri kerrokset ja reikien sijainnin tarkasti kuvamuodossa. AutoCadilla suunniteltu neulapeti sekä neulojen paikat on esitetty kuvassa 11. [16]



Kuva 10. Neulapedissä käytettävät PKS-299 neulat ja neuloihin valittu kärki [16]



Kuva 11. AutoCadilla suunnitellun neulapedin sijoittelukuva, jonka avulla neulapeti jyrситiin. Kuvan mitat on esitetty millimetreinä.

4.4 Testausadapteri

Käytössä olevan neulapedin takia testattavat tuotteet on saatava jokaisella testauskerralla lähes samalle paikalle, jotta neulat osuvat testauspisteisiin. Testattavalle aihiolle päätettiin suunnitella adapteri, jonka avulla jokainen testattava aihio saadaan kohdistettua riittävän tarkasti paikalleen aina uudella testauskerralla. Adapterin päälle päätettiin asentaa myös tummentava kalvo suojaamaan silmiä testauksen aikana kirkkailta ledeiltä.

Aihion vaihdon haluttiin myös olevan mahdollisimman nopeaa ja vaivatonta, joten adapterista suunniteltiin malli, jossa aihio työnnetään adapterin sivusta kokonaan sisälle.

Suunnittelussa huomioon täytyi ottaa valittujen testausneulojen asennuskorkeus neulapedin pinnasta sekä aihion valmistuksessa olevat aihion mittojen toleranssit. Aihion juotosvaiheessa aihio saattaa myös taipua keskeltä, joten adapteriin lisättiin myös keskituki ylä- sekä alapuolelle suoristamaan mahdollisesti taipunut aihio. Adapteri koostuu neulapedistä sekä korotus-, aihio-, kansi- ja päälilevystä. Adapterin suunnittelu suoritettiin graafisesti AutoCadilla. Adapterin kaikki neljä osaa suunniteltiin ja piirrettiin omana kokonaisuutenaan. Adapterin AutoCadilla piirretty adapterin 3D-malli on esitetty kuvassa 12. Materiaaliksi valittiin PVC-muovi sen helpon työstettävyyden ja saatavuuden vuoksi.



Kuva 12. Testausadapterin AutoCad 3D-malli

4.5 Paineilmalaitteisto

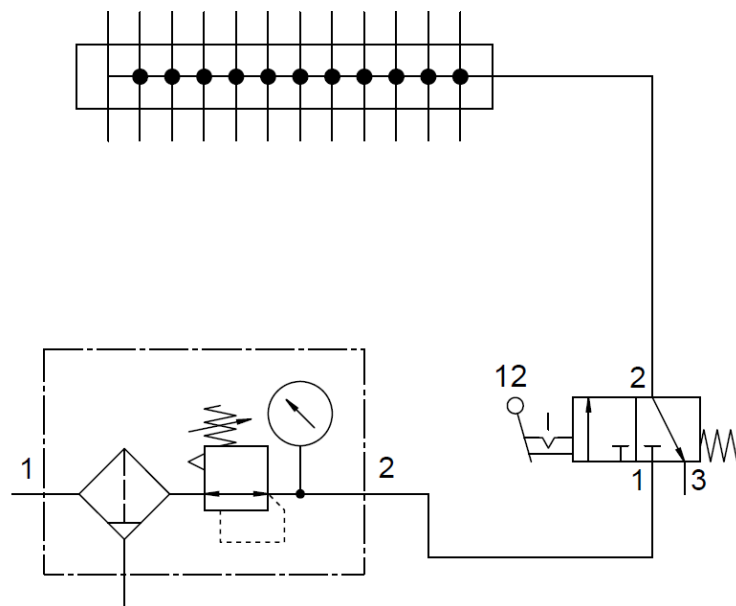
Paineilmaa tarvitaan ohjaamaan testauslaitteen neulapedin neulojen toimintaa. Paine täytyy myös saada jaettua kaikille neuloille tasaisesti, jotta neulat saadaan nousemaan kaikki yhtä korkealle ja saadaan myös riittävä kontaktivoima neulojen ja testauspisteiden välille. Lisäksi paine täytyy saada poistettua hallitusti järjestelmästä testauksen jälkeen, ettei yksittäisiä neuloja jää yläasentoon ja vaurioidu tämän seurauksena. Painetta on myös pystyttävä säätämään tarpeen mukaan, jotta neulojen kontaktivoima ahiota vastaan saadaan riittävän suureksi.

Paineen jakamiseksi tasaisesti kaikille neuloille löytyi varastosta käyttämätön jakotukki, joka on valmistettu pvc-muovista sekä varustettu paineiletkujen pikaliittimillä.

Paineen säätämistä varten valittiin Feston valmistama LFR-D-MINI-paineilmaregulaattori. Valittu paineilmaregulaattori sisältää myös kondensioveden poiston paineilmasta. Laite kykenee reguloimaan paineilman 0,5...16 bar:n välille. [17]

Regulaattorin ja jakotukin välille tarvitaan suuntaventtiili, jotta neulojen toimintaa pystytään kontrolloimaan manuaalisesti. Venttiilin täytyy myös sisältää poistoaukko, jotta neulat saadaan vapautettua takaisin ala-asentoon testauksen jälkeen. Venttiiliksi valittiin Feston valmistama vipukäyttöinen 3/2-suuntaventtiili, joka sisältää tulo-, lähtö- sekä poistoliitännät. Lisäksi venttiilissä on kaksi toiminta-asentoa, ja se on normaalitilassa suljettu. Venttiilissä ilma ei pääse tuloliitännästä lähtöliitännäänsä ennen kuin sen ohjauseliimeen vaikutetaan vivun asentoa muuttamalla. Venttiilin ollessa normaalitilassa lähtöliitännällä on yhteys poistoliitännään.

Kun ohjausvipu asetetaan pois normaalitilasta, sulkeutuu tulo- ja poistoliitännän välinen yhteys, ja avautuu yhteys tulo- ja lähtöliitännän välille. Tämän seurauksena ilma pääsee virtaamaan venttiiliin läpi jakotukin kautta neuloille, jonka seurauksena neulat nousevat ylöspäin saadakseen kontaktin testattavaan aihioon. Kun vipu asetetaan takaisin normaaliin tilaan, sulkeutuu tulo- ja poistoliitännän välinen yhteys, ja yhteys syntyy lähtö- ja poistoliitännän välille. Lähtö- ja poistoliitännän ollessa jälleen yhteydessä purkautuu neulojen paine jakotukin kautta ulos poistoliitännästä ja neulat laskeutuvat takaisin ala-asentoon. Paineilmalaitteiston kytkentä esitetään kuvassa 13. [18]



Kuva 13. Paineilmalaitteiston kytkentä

5 OHJELMISTON SUUNNITTELU

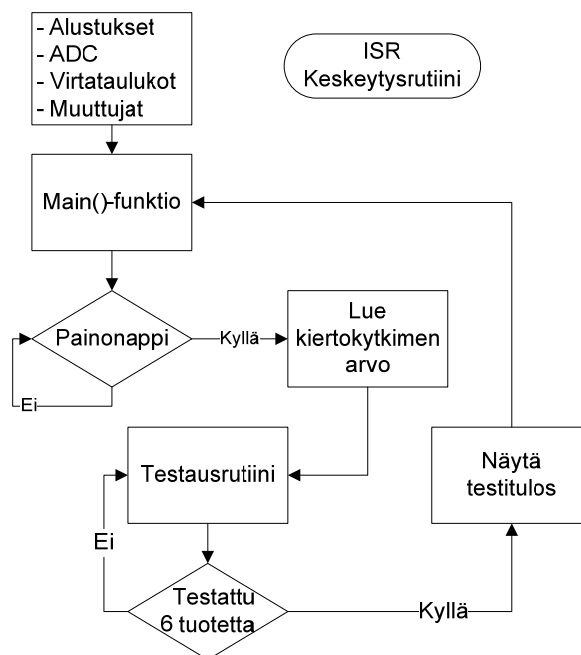
Ohjelman kehittämiseen käytettiin Atmelin AVR Studion versiota 4.19. Ohjelma kirjoitettiin C-kielellä. Kääntäjänä käytettiin Atmelin AVR Toolchain 3.3.0 -ohjelman mukana tulevaa C-kääntäjää, jonka avulla ohjelma pystyttiin muuntamaan myös mikroprosessorin vaatimaan hex-tiedostomuotoon. Mikroprosessorin ohjelmointi suoritettiin käyttäen AVR Studio -ohjelmaa yhdessä AVRISP mkII -ohjelmointilaitetta käyttäen.

Virranmittauksen AD-muunnoksen raja-arvot laskettiin Excelillä asiakkaan hyväksymät virherajat huomioiden kaavaa (6) käyttäen

$$\frac{R_x \cdot I \cdot 11}{3,3 \text{ V}} \cdot 256 \cdot \pm 15\% = ADC_{value} \quad (6)$$

5.1 Testauslaitteen ohjelmiston rakenne

Työn pohjalla olevan testauslaitteen ohjelman rakennetta käytettiin pohjana tuotantotestauslaitteen ohjelmiston suunnitteluun. Ohjelman muokkauksen suunnittelu aloitettiin hahmottelemalla testauslaitteen ohjelman rakenne lohkokaaviolla, joka esitellään tarkemmin kuvassa 14.



Kuva 14. Ohjelman rakenne lohkokaaaviona

5.2 Mikroprosessorin alustukset

Ennen pääohjelman käynnistymistä mikroprosessorin jokaiselle käytettävälle AD-muuntimen kanavalle luodaan oma makro, jotta haluttu AD-muuntimen kanava saadaan kutsuttua helposti pääohjelmassa sille määritetyn makron avulla. Halutut AD-muuntimien kanavat valitaan käyttöön prosessorin ADMUX-rekisterin kolmen viimeisen bitin avulla. Makron luominen AD-muuntimien kanaville esitetään ohjelmassa 1, jossa esitetään kahden eri AD-kanavan makron luonti.[19]

Ohjelma 1. AD-kanavien makron määrittely

```
#define ADMUX_IM_HIGH    0x26
#define ADMUX_IM_LOW     0x25
```

Tarvittaville I/O-pinneille määritettiin myös nimet käyttäen makroja sekä binääriluvulla asetettiin pinnin sijainti portissa.

Virranmittauksen raja-arvot sisältävät taulukot alustettiin vakioksi ja lasketut raja-arvot syötettiin taulukoihin. Taulukot määritettiin vakioiksi, jottei ohjelma pääse muokkaamaan taulukoihin syötettyjä arvoja.

Ohjelmassa tarvittavat muuttujat alustettiin halutun tyyppisiksi niiden käyttötavan mukaan. Muuttujat kahta lukuun ottamatta ovat tyyppiltään etumerkittömiä kokonaislukuja jolloin muuttujat eivät voi saada negatiivisia arvoja. Muuttujat `i` ja `pcb` alustettiin 8-bittisiksi etumerkillisiksi muuttujiksi, koska muuttujien on tarve saada myös negatiivisia lukuarvoja. [20]

5.3 Ohjelman käynnistyminen

Mikrokontrollerin käynnistyttyä ja tarvittavien alustusten suoritusten jälkeen siirtyy ohjelman suoritus `main()` -funktioon. `Main()` -funktion alussa sallitaan ohjelman keskeytykset. Tämän jälkeen ohjelman suoritus etenee I/O-porttien pinnien suuntien määrittämiseen. Portin pinnit asetetaan lähdöksi tai sisääntuloksi antamalla portin DDRx-rekisterille data binäärilukuna. Yksittäinen pinni asetetaan ulostuloksi antamalla rekisteriin sen arvoksi 1 ja sisääntuloksi antamalla arvoksi 0. Kaikkien porttien looginen

tila asetetaan nollaan lähtötilanteessa. Siirtorekisteripiirin ulostulot myös nollataan eli asetetaan arvoon 0 varmuuden vuoksi.

Porttien alustuksen jälkeen käynnistetään AD-muunnin sekä asetetaan muunnin suoritamaan AD-muunnosta jatkuvasti, jolloin se suorittaa mittauksen aina 104 μ s:n välein keskeytysvektorin ohjaamana. [20]

5.4 Testaus-silmukka

Varsinainen testaus suoritetaan päättymättömässä silmukassa `Main()` -funktion sisällä. Silmukan alussa valitaan matalampi testausjännite ja tämän jälkeen odotetaan testauksen käynnistävältä painonapilta herätettä prosessorille. Prosessorin saatua herätteen lukee prosessori kiertokytkimeltä saadun AD-muuntimen arvon, jonka perusteella oikeat testausrajat löydetään virtataulukoista.

Tämän jälkeen ohjelman suoritus siirtyy varsinaiseen testaus-silmukkaan. Testaus-silmukan alussa siirtorekisteripiirin ulostulot nollataan. Tämän jälkeen siirtorekisteriin ensimmäiseen ulostuloon kirjoitetaan arvo 1, jolla avataan ensimmäisen tuotteen testauksen mahdollistava FET.

Itse testaus toteutettiin kahdella `switch case` -rakenteella. `Switch case` -rakenteet sijaitsevat `while`-silmukan sisällä, jonka jatkumisehtona on se, ettei testattavassa tuotteessa ole ilmaantunut virhettä. Ensimmäinen `switch`-rakenne sisältää kaksi case-rakennetta, ison virran mittauksen alemmalla sekä korkeammalla tuotteen käyttöjännitteellä. Ensimmäisessä `switch`-rakenteessa pienen virran mittauksen kytkennän FET on johtavassa tilassa ja virranmittaus suoritetaan INA 139 -virranmittauspiirillä.

Jälkimmäinen `switch`-rakenne sisältää kolme case-rakennetta. Case-rakenteet suoritavat vilkun, jarrun sekä takavalon normaalivirtojen mittauksen. Tällöin pienen virran mittauksen FET on suljetussa tilassa ja virranmittauksen hoitaa pienen virran mittauksen kytkentä R_x -mittavastuksen avulla.

Jokaisen case-rakenteen jälkeen ohjelma lukee mitatut virta- ja jännitearvot, jotka keskeytysvektori on tallentanut muistiin ja vertaa niitä taulukkojen arvoihin, joissa sallitut virta- ja jänniterajat ovat. Jos jompikumpi tuloksista on, epätosi keskeyttää ohjelma testattavana olevan tuotteen testauksen ja siirtyy testaamaan seuraavaa tuotetta aihiossa. Tu-

loksen ollessa tosi, ohjelma jatkaa eteenpäin seuraavan tuotteen vuorossa olevaan virranmittaukseen.

Jokaisen testatun tuotteen jälkeen kirjoittaa ohjelma `Test_result []` -taulukko arvon 0, jos tuote on läpäissyt testin. Tuotteen ollessa viallinen se kirjoittaa taulukkoon havaitun virheen `Fail`-arvon. Virhe voi saada arvon väliltä 1–8 havaitun virheen mukaan. [20]

5.5 Testaustuloksen esittäminen

Ennen testaustuloksen esittämistä avataan pienen virran FET, valitaan korkeampi käyttöjännite käyttöön ledien pienemmän virrankulutuksen vuoksi sekä avataan vilkkukanavan FET. Testaustuloksen lukeminen suoritetaan kahdella sisäkkäisellä `for`-silmukalla. Sisempi `for`-silmukka suorittaa testaustuloksen lukemisen `test_result`-taulukosta. Ulomman `for`-silmukan tehtävä on toistaa sisempi silmukka kuusi kertaa, jolloin jokaisen testatun tuotteen tulos saadaan luettua ja esitettyä. Sisempi silmukka vertaa ulomman silmukan muuttujaa `i` ja sisemmän silmukan `pcb`-muuttujan arvoja toisiinsa. Muuttujan `pcb` ollessa suurempi tai yhtäsuuri kuin muuttuja `i`, luetaan testaustulos taulukosta muuttujan `pcb` osoittamasta paikasta. Taulukosta luettavan arvon ollessa 0 siirretään siirtorekisteriin arvo 1. `Pcb`-muuttujan ollessa pienempi kuin muuttuja `i` tai taulukon arvon ollessa erisuuri kuin 0 siirretään arvo 0 siirtorekisteriin. Kun sisempi silmukka on suoritettu kokonaisuudessaan, siirretään siirtorekisterissä olevat arvot siirtorekisteripiiriin muistirekisteriin ja samalla sen ulostuloihin. Ohjelma 2 otoksessa koodista esitetään testauksen tulosten esittämisen rakenne kokonaisuudessaan. [20]

Ohjelma 2. Testaustuloksen esittäminen

```
for (i=5; i>=0; i--)
{
    for (pcb=5; pcb>=0; pcb--)
    {
        if ((pcb >= i) && (test_result[pcb] == 0))
            PORTD |= SER; // Serial input 1
        else PORTD &= ~SER; //Serial input 0
    }
}
```

```
    PORTB |= SCK; // Shift to register

    PORTB &= ~SCK;

}

PORTB |= LATCH; // Shift to output

PORTB &= ~LATCH;

kick_wdt();

delay_104us(2000);

}
```

6 PROJEKTIN LÄPIVIENTI

6.1 Suunnittelu

Testauslaitteen vaatimusten määrittelyn jälkeen, aloitettiin testauslaitteen suunnittelu. Suunnittelu aloitettiin valitsemalla sopivat neulat neulapedille ja valitsemalla sopivat paineilmakomponentit testauslaitteelle.

Paineilmajärjestelmän suunnittelun jälkeen siirryttiin kehittämään testauselektroniikkaa. Virranmittauksen suunnittelu aloitettiin valitsemalla kytkentä, jolla virranmittaus toteutetaan. Ensimmäinen kahdella rinnakkain kytketyllä INA 139 -piirillä toteutettu kytkentä todettiin soveltumattomaksi testauslaitteistoon. Toinen mittavastuksella toteutettu ja samalla lopullinen kytkentä todettiin sopivaksi testauslaitteeseen.

Virranmittauksen onnistuneen suunnittelun jälkeen siirryttiin suunnittelemaan koko aihion testausta. Projektin alusta alkaen ollut idea toteuttaa aihion testaus siirtorekisteripiirillä ja FETeillä, todettiin nopeasti toimivaksi ja soveltuvaksi testauslaitteeseen.

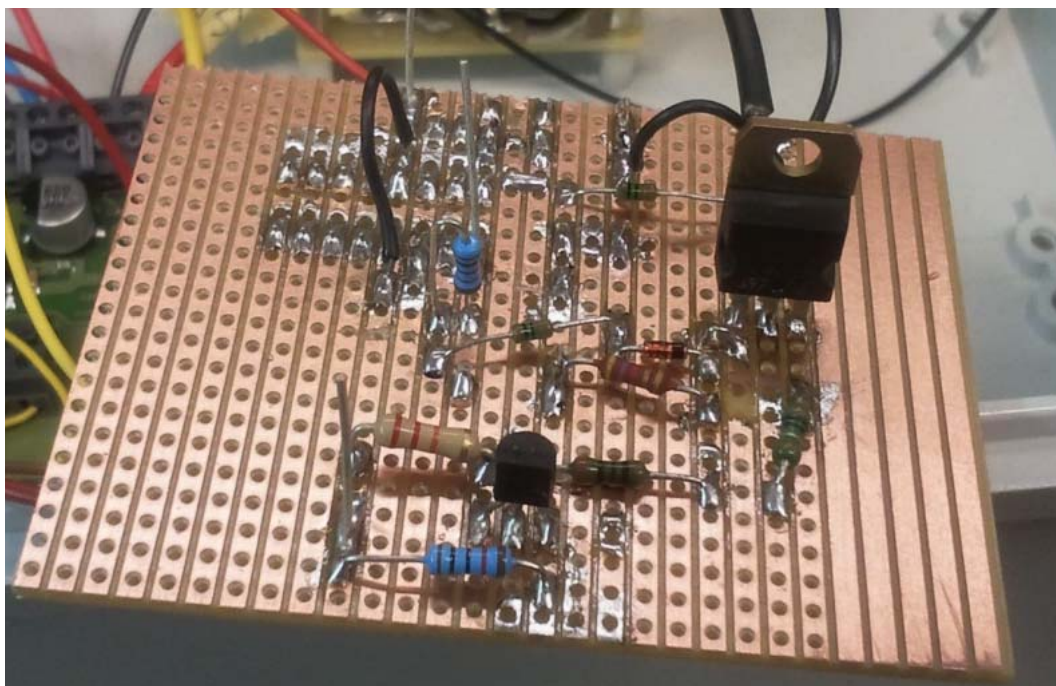
Elektroniikan ollessa valmis oli jäljellä testausadapterin suunnittelu. Suunnittelu aloitettiin mitoittamalla adapterin ulkomitat sopivaksi testauslaitteen rungon kanteen nähden. Sopivien ulkomittojen ollessa selvillä piirrettiin adapterin hahmotelma mittoineen paperille. Kun paperille piirrettyyn luonnokseen oltiin tyytyväisiä, mallinnettiin AutoCadilla karkea luonnos koko adapterista. Luonnos näytti myös toimivalta AutoCad mallissa. Seuraavaksi jokainen adapteriin tuleva komponentti suunniteltiin erikseen Autocadilla ja valmiita kuvia voitiin suoraan käyttää adapterin jyrksinnässä.

Ohjelmistoa suunniteltiin ja kirjoitettiin projektin aikana samaan aikaan, kuin elektroniikkaa suunniteltiin ja todettiin toimivaksi.

6.2 Prototyypin luonti

Toimivan testauslaitteen valmistamiseksi tehtiin testauslaitteen prototyyppi, joka kykenee testaamaan yhden tuotteen kerrallaan. Prototyypin valmistaminen aloitettiin juottamalla pienen virran mittauksen vaatimat komponentit reikälevylle. Prototyyppikytkennässä

FETina käytetään eri FETia kuin lopullisessa kytkennässä. Lisäksi FETin ohjaus on toteutettu transistorikytkennällä. Komponenttien juottamisen jälkeen virranmittausmoduuli yhdistettiin johdoilla prosessorikorttiin. Prototyypissä käytetty virranmittausmoduuli juotettuna esitetään kuvassa 15.



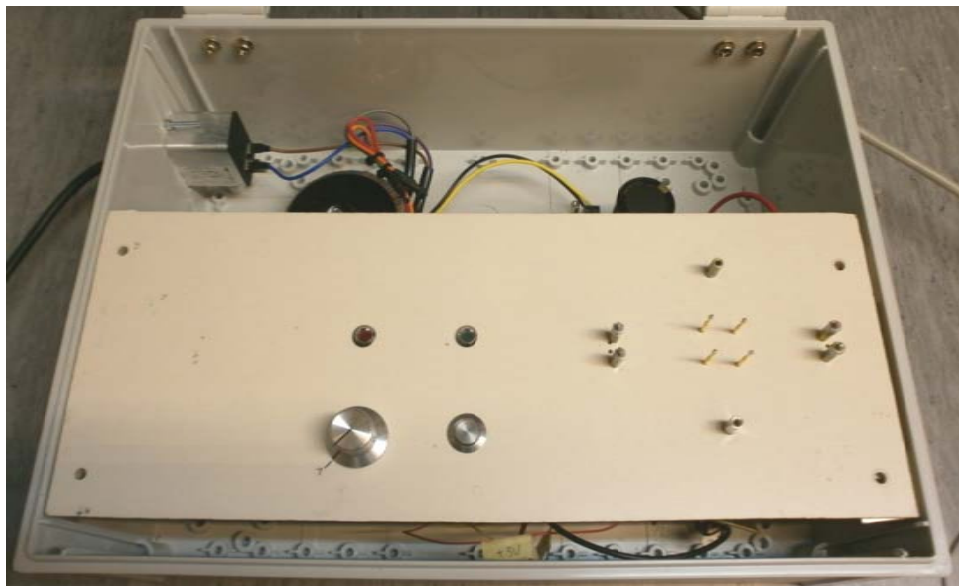
Kuva 15. Pienen virranmittauksen kytkennän komponentit juotettuna reikälevylle

Tämän jälkeen juotettiin tarvittavat johdot kiinni testauslaitteiston indikaattoreihin ja ohjaukseen tarvittaviin osiin. Testin tuloksen indikaattorina toimivat punainen ja vihreä led. Ohjaukseen käytetään 10-asentoista kiertokytkintä sekä painonappia testauksen aloittamiseen. Adapteriin porattiin myös neljä reikää käytettäville testausneuloille sekä kuusi reikää ohjaustapeille, jotta tuote saadaan asetettua oikeaan kohtaan testausta varten. Neulojen asennuksen jälkeen niiden runkoon juotettiin johdot kiinni. Johtojen vapaat päät kiinnitettiin ruuviliitoksella kiinni pikaliittimiin, minkä jälkeen liittimet kytkettiin oikeille paikoille prosessorikortin piikkirimoihin.

Kaikki tarvittavat osat kiinnitettiin testauslaitteen kotelon pohjalle, johon asennettiin myös rengassydänmuuntaja pudottamaan verkkovirran jännitettä hakkuriteholähteelle. Hakkuriteholähde kiinnitettiin prosessorikorttiin myös pikaliitimien ja johtojen avulla.

Kaikkien tarvittavien komponenttien ja johtojen ollessa paikallaan, suoritettiin laitteen testaus. Ensin testattava tuote testattiin testauslaitteella, jonka jälkeen tuotteen normaali-

virrat mitattiin yleismittarilla sekä oskilloskoopin avulla todettiin vilkun toimivuus. Tämän jälkeen vertailtiin testauslaitteen antamia tuloksia, yleismittarin ja oskilloskoopin vastaaviin tuloksiin. Mittausten perusteella havaittiin testauslaitteen toimivan oikein, eikä se päästänyt viallisia laitteita läpi testauksesta. Testauslaite osoittautui vaatimuksia tarkemmaksi testattaessa. Testauslaitteen valmis prototyyppi esitetään kuvassa 16.



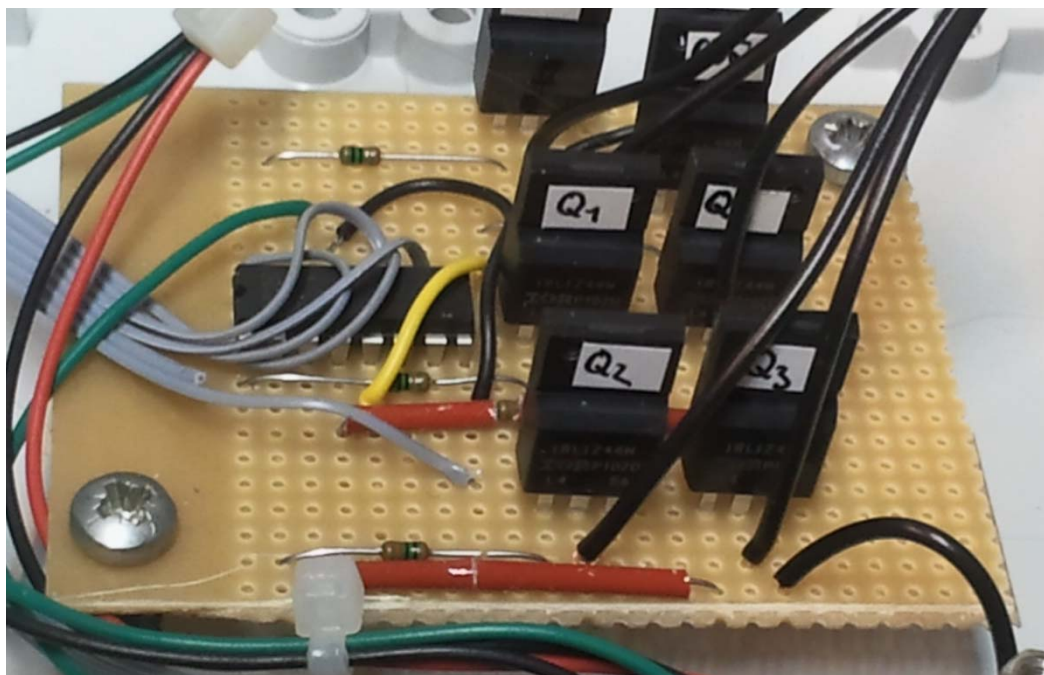
Kuva 16. Testauslaitteen prototyyppi valmiina

6.3 Koko aihion testauksen toteutus

Toiminnan testaus aloitettiin juottamalla 74HC595-piiri kiinni reikälevylle. Testauslaitteessa käytettäviin ulostuloihin juotettiin MOSFET-kytkimien sijaan vähän virtaa kuluttavat ledit etuvastuksien kanssa. Ledien avulla on helppo visuaalisesti todeta toimiiko 74HC595-piirin ulostulojen ohjaus siirtorekisteriä käyttäen halutulla tavalla. Reikälevylle juotettiin myös 74HC595-piirin tarvitsemat johtimet. Johtimien toiset päät juotettiin kiinni prosessorikortille niitä vastaaviin prosessorin jalkoihin.

Siirtorekisterin toimintaa testattiin käynnistämällä testaus ilman tuotetta samalla seura-ten siirtorekisteripiiriin kytkettyjen ledien syttymisjärjestystä. Toiminta testattiin muutamana kerran peräkkäin, jotta pystyttiin toteamaan myös siirtorekisterin tyhjennyksen toimivuus. Siirtorekisterin todettiin toimivan oikein, jonka jälkeen ledit ja etuvastukset poistettiin.

Ylimääräisten komponenttien poiston jälkeen juotettiin tarvittavat kuusi IRLIZ44N FETia pakoilleen niiden vaatimien vastusten kanssa. Testattavan tuotteen maihin tulevat johtimet juotettiin myös jokaisen FET-kytkimen nieluun. Komponenttien sijoittelu reikälevylle ja valmis kytkentä esitetään kuvassa 17.



Kuva 17. Valmis aihion testauksen ohjauskytkentä

6.4 Adapterin ja neulapedin valmistus

Adapterin ja neulapedin materiaaliksi valittiin 10 mm paksu PVC-levy. Levyt jysittiin käyttäen yrityksen omaa CNC-jyrsintä, jonka ohjelmistona käytetään Linuxilla toimivaa EMC2-ohjelmaa.

Aluksi AutoCadilla luodut mallit täytyi muuttaa EMC-ohjelman ymmärtämään muotoon. AutoCadin dxf-tiedostot muunnettiin ohjelman vaatimaan nc-tiedostomuotoon käyttäen ACEconverter -ohjelmaa. Ohjelmat siirrettiin EMC2 -ohjelmaan muistitikkua käyttäen.

PVC-levy kiinnitettiin jyrsimen pöydälle kahden ruuvin avulla riittävän kireälle, ettei levy pääse liikkumaan työstön aikana. Levyt jysittiin yksi kerrallaan ja viimeisteltiin käsijyrsintä käyttäen.

Neulapetiin porattiin pylväsporalla testausneulojen holkkien vaatimat, halkaisijaltaan 3,4 mm:n reiät. Aihiolevyyn porattiin suorakaiteen muotoiset reiät, jotta aihion testauspisteet saadaan kohdistettua neulapedin neulojen kanssa riittävän tarkasti.

Jyrsinnän jälkeen levyt asetettiin oikeaan järjestykseen päällekkäin ja kiinnitettiin toisiinsa ruuveilla jokaisesta kulmasta. Adapterin levyjen ollessa vielä liikuteltavissa toisiinsa nähden ennen lopullista kiristämistä, asennettiin testausneulojen holkit ja testausneulat paikoilleen. Neulojen ollessa paikallaan asetettiin latomaton piirilevyaihio paikalleen ja neulapeti kohdistettiin silmämääräisesti oikealle paikalle aihion testauspisteisiin nähden.

6.5 Testauslaitteiston kokoaminen

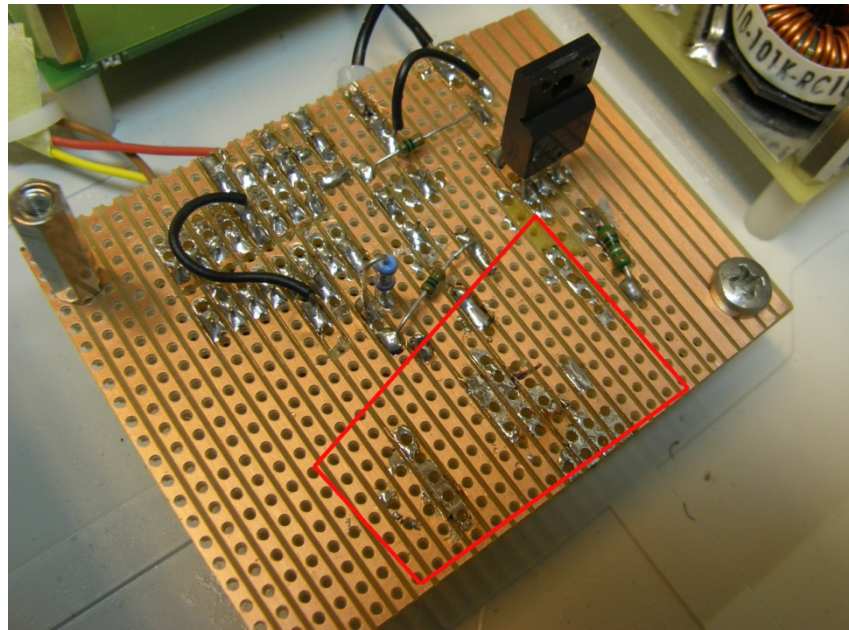
Testauslaitteen kokoaminen aloitettiin merkitsemällä neulapedin testausneulojen ja adapterin kiinnitysruuviin paikat testauslaitteen laatikon kanteen. Merkittyihin paikkoihin porattiin akkuporalla 5 mm:n reiät, jonka jälkeen reikien reunat viilattiin tasaiseksi. Testausadapteri asetettiin paikoilleen ja reikien poraamisen todettiin olleen erinomaisen tarkka, joten laatikon kantta ei tarvinnut työstää enempää tässä vaiheessa. Adapteri kiinnitettiin kanteen adapterin kiinnitysruuveista mutterin avulla. Kannen ja mutterin väliin asennettiin myös aluslaatta.

Seuraavaksi testauslaitteen vaatimat piirilevyt asennettiin laatikon pohjalle muovisten holkkien ja ruuvien avulla. Piirilevyt kiinnitettiin ja eristettiin niin, ettei laatikon ulkopuolelle jääviin ruuvien kantoihin ole mahdollista päästä jännitettä.

Piirilevyjen ollessa paikoillaan alettiin testauslaitteen paineilmalaitteistoa kasata laatikon sisälle. Paineilman säätöventtiili kiinnitettiin laatikon takaosaan, jotta paineilman suuruuden tarkastaminen ja mahdollinen säätäminen on mahdollisimman nopeaa ja vaivatonta. Seuraavaksi porattiin tarvittavat reiät vipukäyttöiselle suuntaventtiilille. Venttiilin vivulle porattiin reikä laatikon etureunaan ja venttiilin kiinnitykselle laatikkoon kolme reikää laatikon sivuun. Testausneulojen paineenjakotukki kiinnitettiin myös samalle sivulle venttiilin kanssa kahden ruuvien avulla laatikon sisäpuolelle. Paineilmalaitteiston osat kytkettiin toisiinsa silikonista valmistetulla notkealla paineilmaletkulla.

Pienen virranmittauksen kytkentään tehtiin myös lopullinen muutos vaihtamalla prototyyppissä ollut FET samanlaiseksi kuin koko aihion testauksen kytkennässä. FETia vaihtamalla päästiin eroon transistorikytkennästä, koska IRLIZ44N FETin hilan ohjaus voidaan

suorittaa suoraan prosessorilta. Poistettujen komponenttien määrän voi havaita vertaamalla kuvaa 15 ja kuvaa 18. FETia vaihtamalla saatiin komponentteja poistettua yhteensä kuusi. Hakkuriteholähteeltä prosessorikortille tulevat johdot juotettiin kiinni liittimien käytön sijaan, koska liittimien havaittiin mittauksia suoritettaessa ilmeisesti hapettumisen johdosta pudottavan prosessorikortille tulevaa jännitettä liian paljon. Juottamisen jälkeen jännitehäviö saatiin takaisin suunnitellulle tasolle. Lopullinen testauslaite on esitetty kuvina liitteessä 1.



Kuva 18. Lopullinen pienen virranmittaukseen käytettävä kytkentä juotettuna. Poistetut komponentit sijaitsivat punaisen alueen sisäpuolella.

7 TOIMIVAN MALLIN KUVAUS

7.1 Käyttöönotto

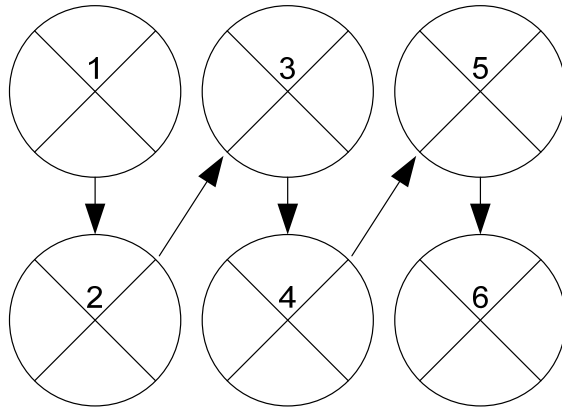
Testauslaitteen käyttöönotto on erittäin yksinkertaista. Ennen kytkemistä sähkö- ja paineilmaverkkoon tarkistetaan, että venttiilin vipu on off-asennossa. Tämän jälkeen testauslaite kytketään paineilmaverkkoon ja tarkastetaan paineen määrä laitteen takana sijaitsevasta paineregulaattorista. Oikea paine testauslaitteelle ja sen neuloille on 4 bar:a. Oikean paineen määrän tarkistamisen ja mahdollisen säätämisen jälkeen kytketään laite johdolla pistorasiaan sekä kytketään virta päälle laitteen virtakytkimestä.

7.2 Testaus

Testaus aloitetaan tarkastamalla kiertokytkimen asento. testattavalle tuotteelle tarkoitetut rajat saadaan käyttöön asettamalla kytkin asentoon 1. Kytkimen ollessa oikeassa asennossa voidaan testattava aihio asettaa testausadapteriin. Aihion asettamisessa on tärkeää huomioida, että aihio asetetaan oikein päin adapteriin.

Aihion ollessa paikoillaan asetetaan venttiilin ohjausvivusta paineet neuloille. Neulat nousevat oikeaan testusasentoon sekä saavat kontaktin samalla testauspisteisiin. Neulojen ollessa yläasennossa voidaan varsinainen testi aloittaa painamalla testausnappia. Napin painamisen jälkeen laite aloittaa testauksen tuotteesta numero 1. Laite suorittaa ensin testauksen pienemmällä jännitteellä. Vilkun toiminta testataan ensimmäiseksi käyttäen suuremman virranmittauksen kytkentää, jonka jälkeen testauksen seuraavat vaiheet suoritetaan käyttämällä pienen virranmittauksen kytkentää. Tämän jälkeen testaus suoritetaan vielä suuremmalla käyttöjännitteellä. Laite testaa kaikki tuotteet kuvan 19 esittämässä järjestyksessä.

Kaikkien aihiossa olevien tuotteiden testauksen jälkeen toimivien tuotteiden kaikki ledit sytytetään päälle ja samalla testajan tulee tarkastaa kaikkien ledien toimivuus. Ledien sammumisen jälkeen käännetään venttiilin ohjausvipu takaisin off-asentoon, jolloin neulat laskeutuvat ala-asentoonsa ja aihion voi poistaa turvallisesti pelkäämättä neulojen vääntymistä.



Kuva 19. Aihion tuotteiden testausjärjestys

8 ONGELMAT JA ONNISTUMISET

8.1 Ongelmia

Pienemmän virranmittauksen toteutus yritettiin aluksi luoda käyttämällä INA 139 -piiriä rinnakkain suuren virran mittauksen kytkennän kanssa. Suuren ja pienen virranmittaus erotettiin toisistaan FETeillä. Haluttu virranmittauskytkentä valittiin avaamalla halutun virranmittausalueen FET. Kytkennän toiminta mitoituksineen paperilla vaikutti toimivalta, mutta kytkentää testattaessa virtaa pääsi jostain syystä väärään virranmittausalueen kytkentään. Lopullista syytä kytkennän toimimattomuudelle ei varmuudella löydetty, mutta FETien soveltumattomuus kyseiseen kytkentään pääteltiin mahdolliseksi syyksi kytkennän toimimattomuudelle.

Lopullisen testauslaitteen ollessa jo valmis ja viimeisiä mittauksia suoritettaessa huomattiin testauslaitteen jatkuvasti indikoivan liian pientä testausjännitettä. Vika paikannettiin hakkuriteholähteen ja prosessorikortin välissä oleviin johdotuksiin. Syyksi löydettiin hetken tutkimisen jälkeen johtojen päissä käytettävät pikaliittimet, joiden kontaktipinnat oli valmistettu hopeasta, ja ne olivat ilmeisesti hapettuneet ajan myötä. Tästä syystä liittimet hylättiin kokonaan ja johdot juotettiin suoraan kiinni prosessorikortin ja hakkurikortin välillä.

Neuloille paineilman jakava jakotukki vuosi ilmaa letkujen kytkemisen jälkeen. Vuoto paikannettiin pikaliittimen tiivisteen ja tukin rungon väliin. Vuotojen takia osa neulapedin neuloista ei noussut riittävän korkealle saadakseen kontaktin testattavaan tuotteeseen. Ongelmana olivat jakotukin työstön jäljen epätasaisuudet, jolloin letkujen pikaliittimet pääsivät vuotamaan jakotukin pinnan ja pikaliittimen liitoskohdasta. Ratkaisuksi päätettiin laittaa silikonista valmistettua mattoa jakotukin ja pikaliittimien väliin. Maton ansiosta vuodot saatiin kokonaan loppumaan, ja neulat toimivat tämän jälkeen halutulla tavalla.

8.2 Onnistuneet ratkaisut

Äärimmäisen onnistuneeksi ratkaisuksi osoittautuivat neulapedin neulojen paineilmalla toimivat neulat. Neulat ovat yksinkertainen ja varma tapa saavuttaa halutut testauspisteet

varmasti riittävällä kontaktivoimalla. Toisena vaihtoehtona ollut koko aihion liikuttaminen paineilmasylinterien avulla kiinni neuloihin olisi ollut paljon epätarkempi toiminnaltaan ja hankalampi toteuttaa. Paineilmaneuloja käyttäen neulat eivät pysähdy, ennen kuin ne saavat kontaktin piirilevyn pintaan. Sylinterejä käyttämällä ongelmaksi olisi saattanut muodostua tilanne jolloin yksittäinen neula olisi saanut kontaktin liian kaukana optimaaliselta toimintaetäisyydeltään.

Myös koko aihion tuotteiden ledien toiminnan tarkastaminen testaustuloksen yhteydessä oli parempi ratkaisu kuin yksittäisen tuotteen ledien toimivuuden tarkastaminen testauksen edetessä. Jos ledien toiminnan tarkastus suoritettaisiin vain testauksen aikana, olisi todennäköistä testauksen nopeuden vuoksi, että osa viallisista ledeistä jäisi havaitsematta.

9 YHTEENVETO

Tässä työssä kehitettiin ja rakennettiin tuotantotestauslaite led-ajoneuvovalaisimelle, jolla kyetään testaamaan valmiiksi ladottuja tuotteita aihio kerrallaan. Testauslaitteisto pohjana toimi yrityksen suunnittelema testauselektroniikka, jota kehitettiin vastaamaan tuotteen vaatimuksia.

Testauslaitteesta tuli toimiva ja se kykenee riittävän tarkkaan sekä luotettavaan mittaukseen. Testauslaite esittää testaustuloksen niin selkeästi käyttäjälleen, ettei viallisia tuotteita pääse asiakkaalle asti.

Yrityksellä ei aikaisemmin ollut testausjärjestelmää tuotteelle, mutta tämän kehittämistyön tuloksena yritys kykenee suorittamaan tuotantotestauksen kyseiselle tuotteelle luotettavasti, ennen kuin tuotteet lähetetään asiakkaalle.

Testauslaitteen rakennetta ja sen virranmittauskykyä hyödyntäen ja tarvittavilla ohjelmistomuutoksilla sekä uuden testausadapterin avulla yritys kykenisi testaamaan useampia sen tuotannossa olevia asiakkaan tuotteita.

Testauslaitteen jatkokehityksen kannalta laitteeseen on mahdollista luoda neulojen toiminta sähköisesti ohjatusti ohjelman avulla sekä lisäämällä näyttö testauslaitteeseen. Lisäksi yksittäisen tuotteen testauksen vian korjaamisen jälkeen olisi mahdollista hyödyntämällä kiertokytkimen vapaita paikkoja. Korjatun tuotteen tarkastamiseksi täytyy testauslaitteella suorittaa koko aihion testaus uudestaan. Ledien toiminnan tarkastamisen saisi myös toteutettua mahdollisesti käyttämällä konenäön avulla kameraa, jolla voitaisiin todeta kaikkien ledien tuottavan valoa.

LÄHTEET

- [1] Osram Ag, "History of LED", [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.osram.com/osram_com/LED/Everything_about_LED/History_of_LED/index.html (Luettu: 8.3.2012)
- [2] ElectronicsWeekly.co, "50 year history of led" , [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.electronicweekly.com/Articles/18/02/2011/49501/50-year-history-of-the-LED.htm> (Luettu: 8.3.2012)
- [3] Zheludev, Nikolay, "The life and times of the LED - a 100 year history", [pdf-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.nanophotonics.org.uk/niz/publications/zheludev-2007-ltl.pdf> (luettu 8.3.2012)
- [4] Lenk Ron ja Lenk Carol, *Practical Lighting Design with LEDs*, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Inc., 2011
- [5] Schubert, E. Fred, *Light-emitting Diodes 2nd edition*, Cambridge, Cambridge University Press, 2006
- [6] Rantanen, Kalevi, "Palkitut ledit syntyivät sisulla ja tuurilla", Tiede-lehti, 6, 2006
- [7] U.S Department of Energy, "Energy Efficiency of White LEDs", [pdf-dokumentti], Saatavilla: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/energy_efficiency_white_leds.pdf (Luettu: 15.3.2012)
- [8] Koninklijke Philips Electronics N.V., "Mitä ovat LEDit", [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.lighting.philips.fi/lightcommunity/trends/led/what_are_leds.wpd (Luettu: 12.3.2012)
- [9] The Lighting Research Center, "What is as an LED?...", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/led/whatIsAnLED.asp> (Luettu:12.3.2012)
- [10] "LUXEON Rebel ES", Philips Lumileds Lighting Company, 370 West Trimble Road San Jose, California, 95131 USA
- [11] "TECHNICAL LED'S COLOR CHART", Impact Lighting Inc., 2101 West Central Blvd. Orlando, FL 32805, US
- [12] LEDs Magazine "Cree reports R&D result of 231 lm/W efficacy for white LED", [www-dokumentti], Saatavilla: <http://www.ledsmagazine.com/news/8/5/8>, (Luettu: 27.3.2012)
- [13] "irliz44n", International Rectifier, El Segundo, CA, USA
- [14] "OP290", Analog Devices, 3 Technology Way Norwood, MA 02062, USA
- [15] "74HC_HCT595", NXP Semiconductors, High Tech Campus 60 556, Eindhoven, Alankomaat
- [16] "PKS-299-e", INGUN Prüfmittelbau GmbH, Max-Stromeyer-Straße 162 D-78467 Konstanz, Saksa
- [17] "lfr-d-npt_enus", Festo AG & Co. Kg, 73726 Esslingen Rüter Straße 82 73734 Esslingen
- [18] Veli Hulkkonen, "Pneumatiikka- venttiilit", FLUID klinikka, s. 3-4, 1, 2008
- [19] "ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P Complete", Atmel Corporation, San Jose, California, USA.

[20] Barnett, Richard, O'Cull, Larry ja Cox, Sarah, *Embedded C Programming and the Atmel AVR*, 5 Maxwell Drive, Clifton Park , NY ,Thomson Delmar Learning, 2002

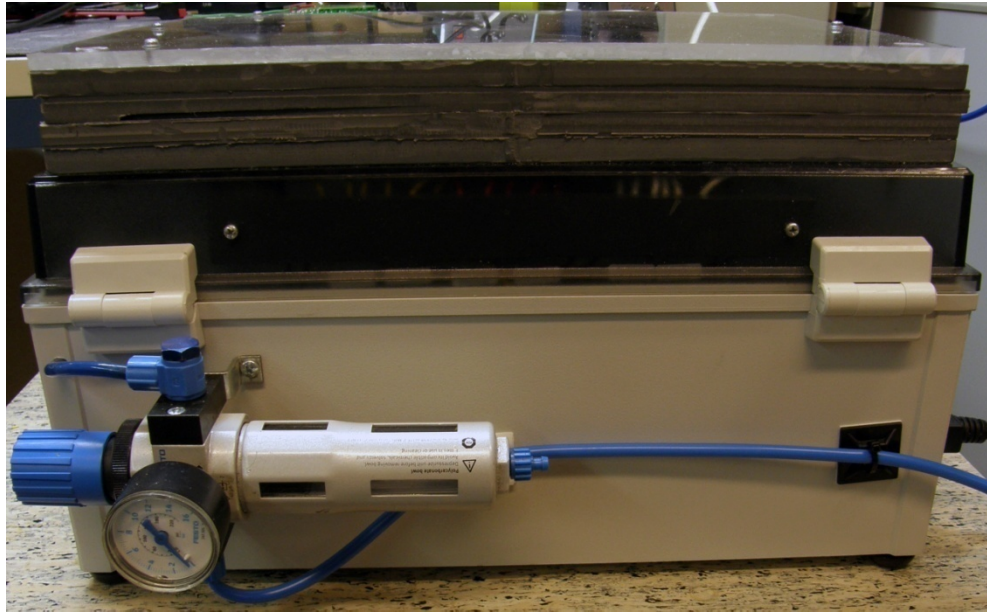
Liite 1. Valmis testauslaitteisto



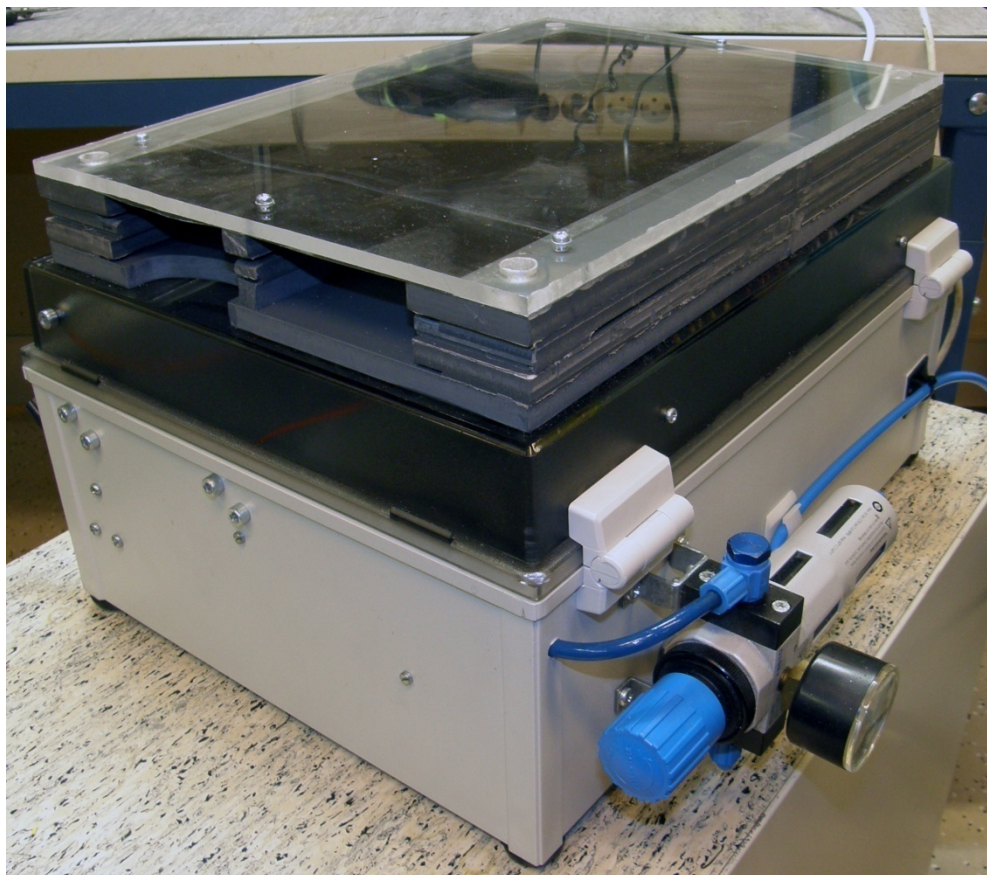
Kuva 1. Testauslaite edestä



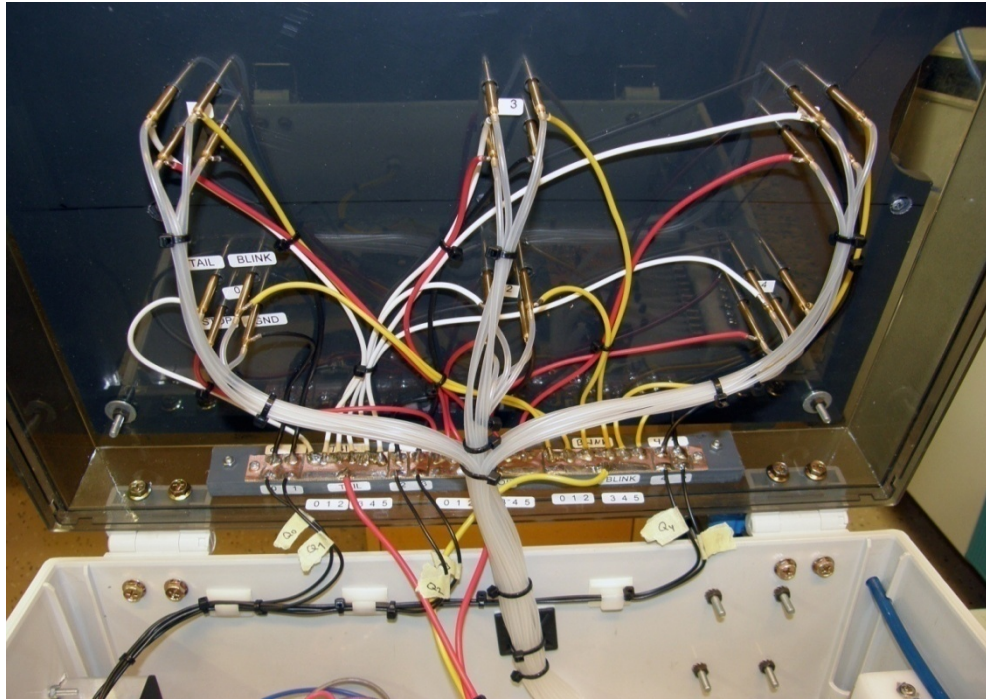
Kuva 2. Testauslaite vasemmalta puolelta



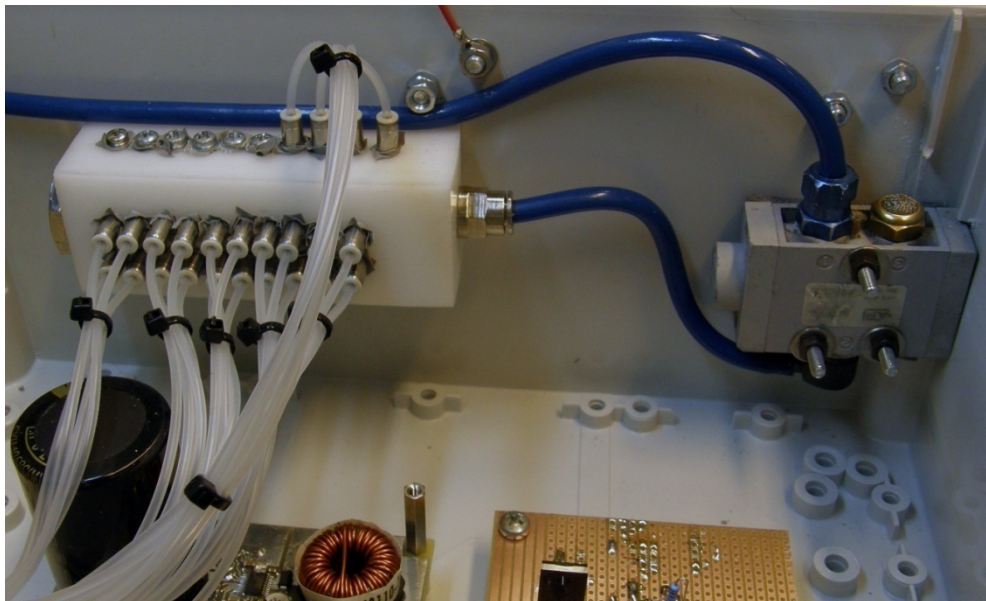
Kuva 3. Testauslaite takaa



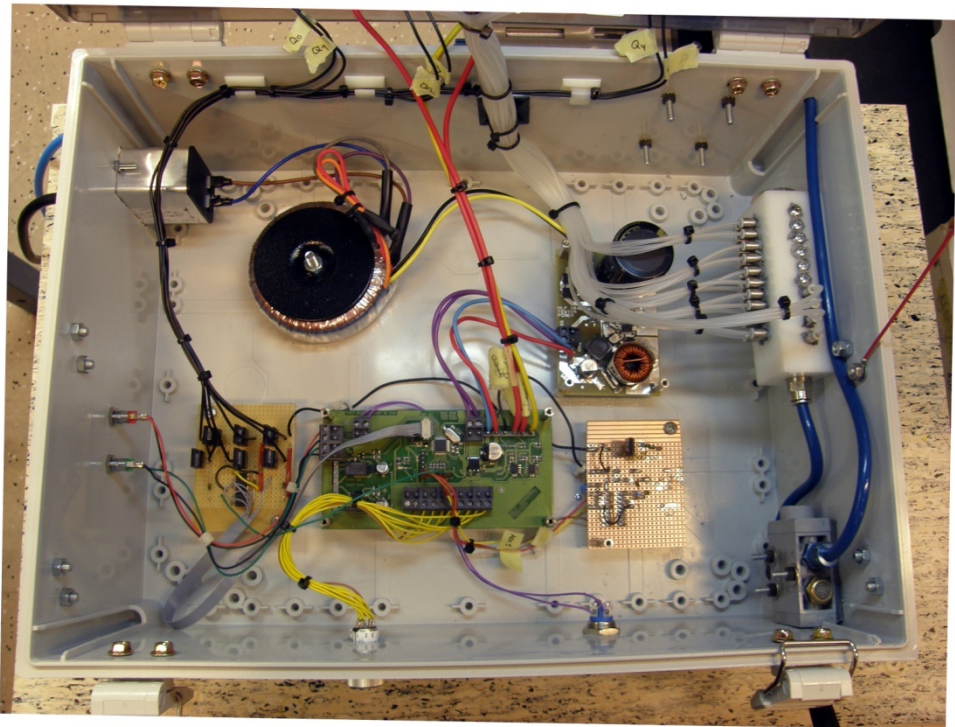
Kuva 4. Testauslaite vasemmalta



Kuva 5. Testauslaitteen neulapedin johdotus



Kuva 6. Testauslaitteen venttiili ja jakotukki



Kuva 7. Testauslaite sisäpuolelta